

**А. М. Малышенко, О. С. Вадутов**

**СБОРНИК ТЕСТОВЫХ ЗАДАЧ  
ПО ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по образованию в области  
радиотехники, электроники, биомедицинской техники  
и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по направлению  
подготовки 220200 «Автоматизация и управление»*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2008

УДК 681.5.01:519 (075.1)  
ББК 32.817:22.1я73  
М207

**Малышенко А. М.**

**М207** Сборник тестовых задач по теории автоматического управления: учебное пособие / А. М. Малышенко, О. С. Вадутов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 368 с.

ISBN 5-98298-103-6

Пособие содержит свыше 1000 тестовых задач, которые не требуют больших временных затрат на их решение и в этой связи позволяют оперативно проверять уровень усвоения студентами курса «Теория автоматического управления», изучаемых в нем принципов построения, методов анализа и синтеза систем автоматического управления.

Может быть использовано при проведении практических занятий, контрольных работ, других внутрисеместровых и итоговых тестовых испытаний, а также для самоконтроля изучающими теорию автоматического управления приобретенных теоретических знаний и практических навыков.

**УДК 681.5.01:519(075.1)**  
**ББК 32.817:22.1я73**

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор  
заведующий кафедрой автоматике НГТУ  
*А.С. Востриков*

Доктор технических наук, профессор  
Санкт-Петербургского государственного  
электротехнического университета «ЛЭТИ»  
*Д.Х. Имаев*

ISBN 5-98298-103-6

© Томский политехнический университет, 2008  
© Малышенко А. М., Вадутов О. С., 2008  
© Оформление: Издательство Томского  
политехнического университета, 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	6
Список сокращений (аббревиатуры) .....	8
<b>1. Типовые задачи и принципы управления.</b>	
<b>Классификация систем автоматического управления .....</b>	<b>9</b>
1.1. Типовые задачи управления .....	9
1.2. Основные принципы управления .....	12
1.3. Классификация систем автоматического управления. ....	14
<b>2. Математические модели процессов в устройствах</b>	
<b>и системах автоматического управления .....</b>	<b>17</b>
2.1. Математическое описание процессов в устройствах	
и системах автоматического управления .....	17
2.2. Преобразование математических моделей .....	22
2.3. Типовые математические модели состояний и процессов .....	24
2.4. Приведение математических моделей к типовым формам .....	27
<b>3. Типовые характеристики динамических свойств</b>	
<b>линейных непрерывных объектов</b>	
<b>и систем автоматического управления .....</b>	<b>32</b>
3.1. Передаточные функции и передаточные матрицы .....	32
3.2. Типовые временные характеристики .....	39
3.3. Частотные характеристики .....	44
3.4. Типовые динамические звенья линейных непрерывных	
систем и их характеристики .....	59
<b>4. Операторно-структурные схемы и графы линейных</b>	
<b>непрерывных систем автоматического управления .....</b>	<b>73</b>
4.1. Составление операторно-структурных схем .....	73
4.2. Преобразование операторно-структурных схем .....	76
4.3. Векторно-матричные схемы и графы линейных	
непрерывных систем .....	82
<b>5. Фундаментальные свойства объектов и систем</b>	
<b>автоматического управления .....</b>	<b>87</b>
5.1. Инерционность, память и каузальность объектов	
и систем управления .....	87
5.2. Управляемость, наблюдаемость, достижимость	
и восстанавливаемость объектов управления .....	93

<b>6. Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического управления</b> . . . . .	101
6.1. Условия устойчивости линейных и линеаризованных непрерывных систем . . . . .	101
6.2. Алгебраические критерии устойчивости . . . . .	104
6.3. Критерий устойчивости Михайлова . . . . .	111
6.4. Критерий устойчивости Найквиста. . . . .	116
6.5. Выделение областей устойчивости в пространстве параметров системы (D-разбиение). . . . .	124
<b>7. Установившиеся режимы в линейных непрерывных системах автоматического управления</b> . . . . .	129
7.1. Установившиеся режимы при постоянных по величине внешних воздействиях . . . . .	129
7.2. Установившиеся режимы при гармонических воздействиях . . . . .	139
7.3. Ряд ошибок и его использование для оценки установившихся режимов . . . . .	143
7.4. Методы повышения точности линейных непрерывных систем автоматического управления в установившихся режимах . . . . .	146
<b>8. Переходные процессы в линейных непрерывных системах автоматического управления</b> . . . . .	154
8.1. Оценка качества процессов по переходным характеристикам . . . . .	154
8.2. Корневые оценки качества . . . . .	158
8.3. Частотные оценки качества . . . . .	164
8.4. Интегральные оценки качества переходных процессов . . . . .	171
<b>9. Особые системы автоматического управления</b> . . . . .	177
9.1. Системы с запаздыванием . . . . .	177
9.2. Системы с распределенными параметрами . . . . .	182
9.3. Системы с переменными и с интервально-определенными параметрами . . . . .	185
9.4. Системы с амплитудной модуляцией . . . . .	191
<b>10. Синтез систем автоматического управления по их линейным моделям</b> . . . . .	194
10.1. Выбор схмотехнических решений . . . . .	194
10.2. Параметрическая настройка систем автоматического управления . . . . .	200
10.3. Синтез корректирующих устройств по логарифмическим частотным характеристикам. . . . .	205
10.4. Модальный синтез систем автоматического управления. . . . .	214

<b>11. Импульсные и цифровые системы автоматического управления . . . . .</b>	<b>220</b>
11.1. Общие сведения об импульсных и цифровых системах . . . . .	220
11.2. Математический аппарат исследования импульсных и цифровых систем . . . . .	224
11.3. Разностные уравнения, передаточные функции и частотные характеристики импульсных систем . . . . .	229
11.4. Устойчивость линейных дискретных систем . . . . .	234
11.5. Установившиеся режимы в дискретных системах . . . . .	240
11.6. Переходные процессы в линейных дискретных системах . . . . .	245
11.7. Синтез импульсных и цифровых систем . . . . .	250
<b>12. Нелинейные системы автоматического управления . . . . .</b>	<b>256</b>
12.1. Особенности и методы исследования нелинейных систем автоматического управления . . . . .	256
12.2. Анализ процессов в нелинейных системах на фазовой плоскости . . . . .	260
12.3. Устойчивость состояний равновесия и процессов в нелинейных системах . . . . .	268
12.4. Исследование периодических режимов методом гармонической линеаризации . . . . .	276
<b>13. Статистическая динамика систем автоматического управления . . . . .</b>	<b>289</b>
13.1. Характеристики случайных процессов . . . . .	289
13.2. Анализ линейных систем при случайных воздействиях . . . . .	296
13.3. Анализ нелинейных систем при случайных воздействиях . . . . .	306
13.4. Синтез систем автоматического управления при случайных воздействиях . . . . .	311
<b>14. Оптимальные и адаптивные системы автоматического управления . . . . .</b>	<b>315</b>
14.1. Классификация и методы решения задач оптимального управления . . . . .	315
14.2. Оптимальные системы автоматического управления . . . . .	325
14.3. Системы экстремального управления . . . . .	333
14.4. Адаптивные системы автоматического управления . . . . .	339
<b>Использованные термины и их определение . . . . .</b>	<b>343</b>
<b>Приложение. Критерии устойчивости систем с интервально-определенными параметрами (серых систем) . . . . .</b>	<b>352</b>
<b>Библиографический список . . . . .</b>	<b>356</b>
<b>Ответы к задачам . . . . .</b>	<b>358</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие предназначено для студентов вузов, изучающих теорию автоматического управления (ТАУ), и может быть использовано ими с целью более качественного усвоения теоретического материала курса и приобретения навыков применения ТАУ для решения практических задач.

Приведенные в сборнике задачи могут быть также использованы профессорско-преподавательским составом для проверки знаний студентов на практических занятиях, в контрольных работах и во время итоговой аттестации. Форма задач и предлагаемые для выбора варианты ответов приняты в сборнике такими, что позволяют применять как безмашинный, так и машинный метод контроля.

В сборник намеренно включены только нетрудоемкие задачи, которые требуют от обучающегося лишь «квантиков» знаний из теории автоматического управления для решения каждой из них. Тем самым обеспечивается оперативная оценка, обладает ли их решающий необходимыми знаниями по изучаемым разделам ТАУ и может ли их использовать для решения практических задач, связанных с анализом или синтезом систем автоматического управления.

В основу данного пособия положены изданные в 1976 и 1978 гг. в Томском политехническом институте первая и вторая части «Сборника программированных задач по курсу «Теория автоматического управления»», которые были подготовлены под общей редакцией А. М. Малышенко авторским коллективом в составе: В. Ф. Аникин, О. С. Вадутов, И. А. Гончар, В. И. Гончаров, А. М. Малышенко [1,2]. Этот сборник до сих пор успешно используется в учебном процессе Томского политехнического университета и ряда других вузов страны. Произшедшие с момента его выхода в свет изменения в программах курсов ТАУ, в используемом в теории автоматического управления математическом аппарате, полученные новые теоретические результаты побудили авторов переработать указанное пособие и существенно расширить его за счет включения задач по ряду новых разделов ТАУ и новых методов анализа и синтеза систем автоматического управления.

Авторы надеются, что предлагаемый читателю сборник будет удобным средством для оперативного контроля освоения теории автоматического управления, её разделов, традиционно включаемых вузами в рабочие программы подготовки специалистов по автоматизации и управлению.

Несмотря на уже полуторавековую историю развития теории автоматического управления, используемая в ней терминология еще не сложилась окончательно. Поэтому в сборник включен раздел, отражающий

основные использованные в нем термины, и даны их определения, а также другие часто используемые их синонимы.

Работа над сборником была распределена между авторами следующим образом: главы 1–10, 13 написаны А. М. Малышенко; главы 11, 12, 14 – О. С. Вадутовым.

Авторы выражают свою искреннюю признательность рецензентам: кафедре автоматики Новосибирского государственного технического университета (зав. кафедрой – д. т. н., профессор А. С. Востриков), д.т.н., профессору Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» Д. Х. Имаеву и к.т.н., доценту Томского политехнического университета С. А. Гайворонскому за полезные замечания по содержанию сборника, а также инженерам Т. Н. Лебедевой и О. А. Борисовой – за помощь в его оформлении.

Отзывы, критические замечания и пожелания по этому учебному пособию просьба направлять по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская, 84, Кибернетический центр Томского политехнического университета, кафедра интегрированных компьютерных систем управления или же по e-mail: mam@tpu.ru.

Авторы

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ (АББРЕВИАТУРЫ)

АИМ-1	– амплитудно-импульсная модуляция первого рода.
АИМ-2	– амплитудно-импульсная модуляция второго рода.
АЧХ	– амплитудно-частотная характеристика.
АФГ	– амплитудно-фазовый годограф.
АФЧХ	– амплитудно-фазовая частотная характеристика.
ВЧХ	– вещественная частотная характеристика.
ЛАЧХ	– логарифмическая амплитудно-частотная характеристика.
ЛЧХ	– логарифмическая частотная характеристика.
ЛФЧХ	– логарифмическая фазовая частотная характеристика.
МЧХ	– мнимая частотная характеристика.
ННУ	– нулевые начальные условия.
НЧ	– непрерывная часть (системы).
ООС	– отрицательная обратная связь.
П-(.)	– пропорциональный (регулятор).
ПД-(.)	– пропорционально-дифференциальный (регулятор).
ПИ-(.)	– пропорционально-интегральный (регулятор).
ПИД-(.)	– пропорционально-интегрально-дифференциальный (регулятор).
САР	– система автоматического регулирования.
САУ	– система автоматического управления.
ФНП	– фиксатор нулевого порядка.
ФЧХ	– фазовая частотная характеристика.
ФЭ	– формирующий элемент.
ЧИМ	– частотно-импульсная модуляция.
ШИМ-1	– широтно-импульсная модуляция первого рода.
ШИМ-2	– широтно-импульсная модуляция второго рода.



## ГЛАВА 1

### ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 1.1. Типовые задачи управления

1.1.1. Какие из приведенных ниже типовых задач управления:

- а) параметрическая перенастройка;
- б) переалгоритмизация;
- в) реконфигурация структурных связей;
- г) стабилизация;
- д) терминальное управление;
- е) слежение;
- ж) финитное управление;
- з) программное управление;
- и) экстремальное управление

относятся к задачам регулирования?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) б, г, е, и; 2) г, д, е, з; 3) г, е, з, и; 4) е, ж, з, и; 5) а, д, ж, е.

1.1.2. Накладывается ли строгое ограничение на время управления в задачах финитного управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) да; 2) нет; 3) мало данных.

1.1.3. Накладывается ли строгое ограничение на время управления в задачах терминального управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) да; 2) нет; 3) мало данных.

1.1.4. Накладываются ли строгие ограничения на траекторию движения объекта при решении задачи терминального управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) накладываются;
- 2) не накладываются;
- 3) мало данных.

**1.1.5.** Каковы должны быть в идеале изменения управляемой переменной объекта  $y(t)$  при задающем воздействии  $y_3(t)$  и реализации для него задачи слежения?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                |                                    |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1) $y(t) \rightarrow y_3(t)$ ; | 4) $y_3(t) - y(t) = \min$ ;        |
| 2) $y(t) \equiv y_3(t)$ ;      | 5) $y_3(t) - y(t) \rightarrow 0$ . |
| 3) $y_3(t) \rightarrow y(t)$ ; |                                    |

**1.1.6.** Какие из перечисленных ниже управлений:

- а) программное управление;
- б) адаптивное управление;
- в) цифровое управление;
- г) стабилизация;
- д) терминальное управление;
- е) автоматическое управление;
- ж) финитное управление;
- з) экстремальное управление

не относятся к типовым задачам управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1) а, б, в; | 4) е, ж, з; |
| 2) б, в, г; | 5) б, в, е. |
| 3) д, е, ж; |             |

**1.1.7.** Какую (или какие) из перечисленных ниже типовых задач управления:

- а) стабилизация,
- б) слежение,
- в) программное управление,
- г) финитное управление,
- д) терминальное управление

решает автопилот пассажирского самолета после набора высоты при движении по заданной траектории полета?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1) а; | 2) б; | 3) в; | 4) г; | 5) д. |
|-------|-------|-------|-------|-------|

**1.1.8.** Какая типовая задача управления решается при управлении электродвигателем качалки штангового насоса, используемого при добыче нефти?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1) стабилизация;           | 4) финитное управление;     |
| 2) слежение;               | 5) терминальное управление. |
| 3) программное управление; |                             |

**1.1.9.** Какую (или какие) из перечисленных ниже типовых задач управления:

- а) стабилизация,
  - б) слежение,
  - в) программное управление,
  - г) финитное управление,
  - д) терминальное управление
- решают при автоматизации управления лифтом в жилом доме?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |          |       |       |       |
|-------|----------|-------|-------|-------|
| 1) б; | 2) а, в; | 3) а; | 4) г; | 5) д. |
|-------|----------|-------|-------|-------|

**1.1.10.** Какие из типовых задач управления реализуются в системе управления ракетой класса «воздух–воздух» с системой самонаведения на цель?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) стабилизация;
- 2) терминальное управление;
- 3) финитное управление и слежение;
- 4) терминальное управление и слежение;
- 5) слежение.

**1.1.11.** Какая типовая задача управления реализуется в автоматическом манипуляторе, используемом для раскроя листового металла?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1) стабилизация,        | 4) программное управление,  |
| 2) слежение,            | 5) терминальное управление. |
| 3) финитное управление, |                             |

## 1.2. Основные принципы управления

1.2.1. В функции каких величин реализуется жесткое управление объектом с целью поддержания его управляемой переменной  $y(t)$  на уровне  $y_3 = \text{const}$  при действии на него возмущения  $f(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $u = u(y_3)$ ;
- 2)  $u = u(y, t)$ ;
- 3)  $u = u(y_3, y, t)$ ;
- 4)  $u = u(y_3, f, t)$ ;
- 5)  $u = u(y_3, y, f)$ .

1.2.2. Можно ли реализовать принцип управления по отклонению, не имея текущей информации о возмущающих воздействиях на объект управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) можно;
- 2) нельзя;
- 3) мало данных.

1.2.3. Текущая информация о каких переменных объекта управления необходима для реализации регулирования по отклонению?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) о регулируемых переменных;
- 2) о внешних воздействиях;
- 3) об управляющих воздействиях;
- 4) о регулируемых переменных и внешних воздействиях;
- 5) о регулируемых переменных и управляющих воздействиях.

1.2.4. Какой принцип управления использован в приведенной на рис. 1.1 системе регулирования скорости электродвигателя Д, включающей электромашинный усилитель ЭМУ и тахогенератор ТГ?

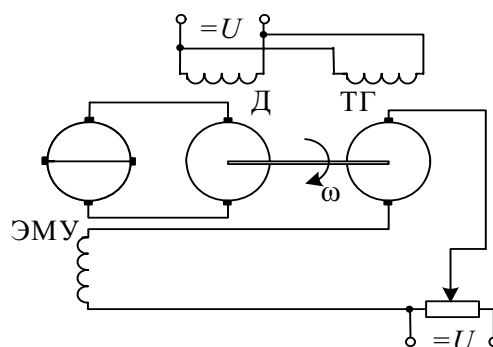


Рис. 1.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) жесткое управление;
- 2) управление по отклонению;
- 3) управление по возмущению;
- 4) комбинированное управление.

1.2.5. Какой принцип управления использован для автоматической стабилизации скорости вращения паровой турбины в САУ, приведенной на рис. 1.2 и имеющей в своем составе центробежный регулятор скорости 1 с шарами 2, золотник 3 и гидроцилиндр 4?

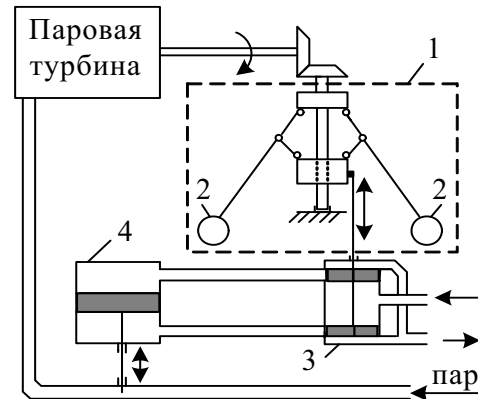


Рис. 1.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) жесткое управление;
- 2) управление по отклонению;
- 3) управление по возмущению;
- 4) комбинированное управление.

1.2.6. Какая из приведенных на рис. 1.3 структурных схем соответствует управлению по возмущению?

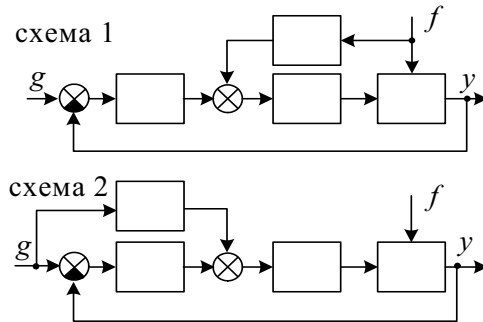


Рис. 1.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) схема 1;
- 2) схема 2;
- 3) схемы 1 и 2;
- 4) ни одна из них;
- 5) мало данных.

1.2.7. Сколько обратных связей у приведенной на рис. 1.4 угломестной следящей системы рабочего механизма РМ, включающей в себя измеритель рассогласования ИР на потенциометрах П1 и П2, двигатель Дв, тахогенератор ТГ, усилительно-преобразующее устройство УПУ, корректирующее устройство КУ, усилитель мощности УМ, редуктор Р и цилиндрическую передачу ЦП ?

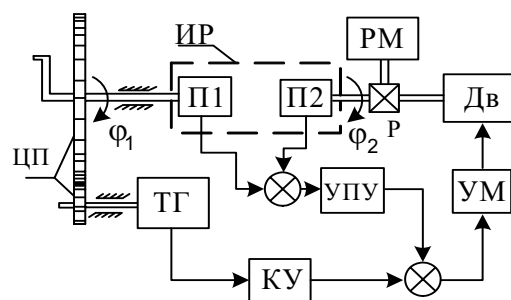


Рис. 1.4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) одна;
- 2) две;
- 3) три;
- 4) ни одной.

### 1.3. Классификация систем автоматического управления

1.3.1. Прямое или не прямое регулирование уровня  $H$  жидкости в резервуаре реализовано с использованием поплавка  $\Pi$  в приведенной на рис. 1.5 системе автоматического регулирования?

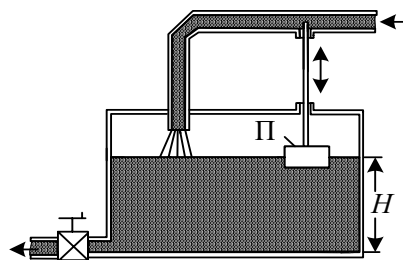


Рис. 1.5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) прямое;
- 2) не прямое;
- 3) комбинированное;
- 4) мало данных.

1.3.2. Каков характер изменения во времени переменных у дискретных систем автоматического регулирования?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) все переменные квантованы по времени;
- 2) все переменные квантованы по уровню;
- 3) все переменные квантованы по времени и по уровню;
- 4) минимум одна внутренняя или выходная переменная квантована по уровню или по времени.

1.3.3. К классу дискретных или непрерывных относится система автоматической стабилизации напряжения генератора (рис. 1.6), включающая электромагнитное реле  $\mathcal{EM}$ , пружину  $\Pi_r$  и потенциометр  $\Pi$ ?

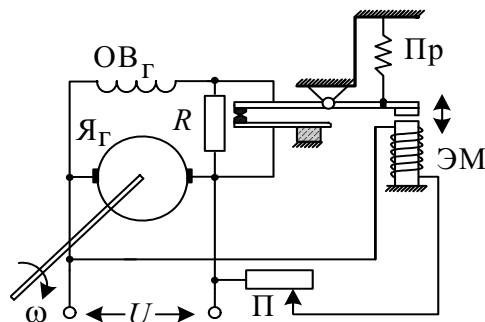


Рис. 1.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) непрерывная;
- 2) дискретная;
- 3) мало данных.

1.3.4. К классу систем прямого или непрямого регулирования относится система стабилизации напряжения управляемого объекта «приводной двигатель – генератор», схема которой приведена на рис. 1.6?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) к системам прямого регулирования;
- 2) к системам непрямого регулирования;
- 3) мало данных.

1.3.5. Каков характер изменения во времени задающего воздействия у следящей системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) неизменяемая во времени величина;
- 2) изменяемая во времени по известному закону величина;
- 3) изменяемая во времени по заранее неизвестному закону величина;
- 4) нарастающая с течением времени величина.

1.3.6. Какие из указанных пунктиром связей обуславливают связанное регулирование у приведенной на рис. 1.7 двухмерной по выходу САР?

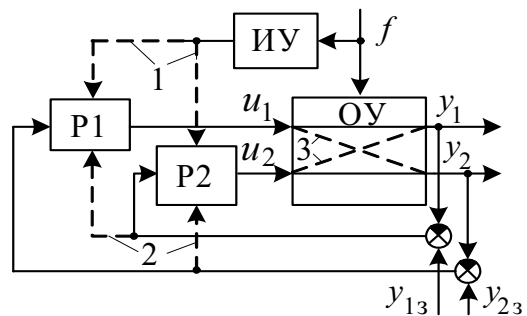


Рис. 1.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) связи 1;
- 2) связи 2;
- 3) связи 3;
- 4) связи 1 и 2;
- 5) связи 2 и 3.

1.3.7. Зависит или не зависит скорость вращения шпинделя токарного станка от положения резца в процессе обработки заготовки?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) да;
- 2) нет;
- 3) мало данных.

1.3.8. Какой может быть максимальная размерность вектора целенаправленно управляемого выхода (положения схвата) при изменении углов поворота  $q_1, q_2, q_3$  у автоматического манипулятора, кинематическая схема которого приведена на рис. 1.8?

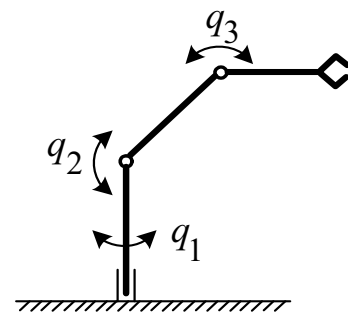


Рис. 1.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) два;
- 2) три;
- 3) четыре;
- 4) пять;
- 5) шесть.





## ГЛАВА 2

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В УСТРОЙСТВАХ И СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 2.1. Математическое описание процессов в устройствах и системах автоматического управления

2.1.1. Каково уравнение связи выходного  $u_2$  и входного  $u_1$  напряжений четырехполюсника, схема которого приведена на рис. 2.1?

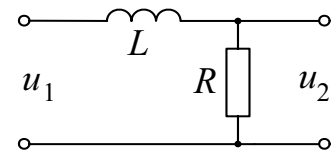


Рис. 2.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $T \frac{du_2}{dt} + u_2 = k u_1$ ;
- 2)  $T \frac{du_2}{dt} + u_2 = k \frac{du_1}{dt}$ ;
- 3)  $\frac{du_2}{dt} = k u_1$ ;
- 4)  $u_2 = k \frac{du_1}{dt}$ ;
- 5)  $u_2 = k u_1$ .

2.1.2. Каково уравнение связи напряжений  $u_2$  и  $u_1$  в четырехполюснике, схема которого приведена на рис. 2.2?

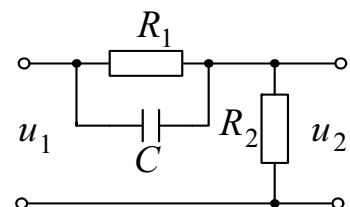


Рис. 2.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $T_2 \frac{du_2}{dt} + u_2 = k \left( T_1 \frac{du_1}{dt} + u_1 \right)$ , где  $T_2 < T_1$ ;
- 2)  $T_2 \frac{du_2}{dt} + u_2 = k \left( T_1 \frac{du_1}{dt} + u_1 \right)$ , где  $T_2 > T_1$ ;
- 3)  $T \frac{du_2}{dt} + u_2 = k T \frac{du_1}{dt}$ ;
- 4)  $T \frac{du_2}{dt} + u_2 = k u_1$ .

2.1.3. Каким уравнением описывается связь напряжения возбуждения и выходного напряжения электрического генератора, схема которого представлена на рис. 2.3?

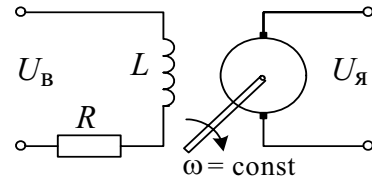


Рис. 2.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{du_{\text{Я}}}{dt} = k u_{\text{В}}$ ;

2)  $T \frac{du_{\text{Я}}}{dt} + u_{\text{Я}} = k T \frac{du_{\text{В}}}{dt}$ ;

3)  $T^2 \frac{d^2 u_{\text{Я}}}{dt^2} + 2\xi T \frac{du_{\text{Я}}}{dt} + u_{\text{Я}} = k u_{\text{В}}$ ;

4)  $T \frac{du_{\text{Я}}}{dt} + u_{\text{Я}} = k u_{\text{В}}$ ;

5)  $u_{\text{Я}} = k \frac{du_{\text{В}}}{dt}$ .

2.1.4. Каким уравнением описывается связь выходного напряжения  $U_2$  и напряжения возбуждения  $U_1$  при отсутствии нагрузки в электромашинном усилителе с поперечным полем, схема которого представлена на рис. 2.4?

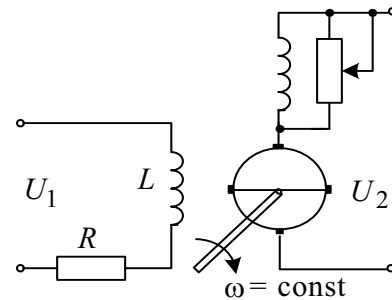


Рис. 2.4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $T_1 \frac{du_2}{dt} + u_1 = k T_2 \frac{du_1}{dt}$ ;

2)  $T_1 T_2 \frac{d^2 u_2}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{du_2}{dt} + u_2 = k u_1$ ;

3)  $T_1 T_2 \frac{d^2 u_2}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{du_2}{dt} + u_2 = k \frac{du_1}{dt}$ ;

4)  $T_1 \frac{du_2}{dt} + u_1 = k \left( T_2 \frac{du_1}{dt} + u_1 \right)$ ;

5)  $T \frac{d^2 u_2}{dt^2} + \frac{du_2}{dt} = k u_1$ .

2.1.5. Каким уравнением описывается связь давления притока  $x$  и уровня  $y$  жидкости в резервуаре, представленном на рис. 2.5?

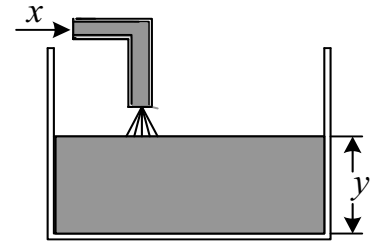


Рис. 2.5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $T \frac{dy}{dt} + y = kx$ ;

2)  $y = k \frac{dx}{dt}$ ;

3)  $\frac{dy}{dt} = kx$ ;

4)  $T \frac{dy}{dt} + y = k \frac{dx}{dt}$ ;

5)  $y = k \left( T \frac{dx}{dt} + x \right)$ .

2.1.6. Какова размерность коэффициента  $a_1$  в дифференциальном уравнении

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b \frac{dx}{dt} + x?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) мало данных;

2) не имеет размерности;

3) размерность отношения  $x \cdot t / y$ ;

4) размерность отношения  $t / y$ ;

5) размерность  $t$ .

2.1.7. Какова размерность коэффициента  $b$  в дифференциальном уравнении

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b \frac{dx}{dt} + x$$

с относительными переменными  $x$  и  $y$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) мало данных;

2) не имеет размерности;

3) размерность отношения  $x \cdot t / y$ ;

4) размерность отношения  $t / y$ ;

5) размерность  $t$ .

2.1.8. Линейной или нелинейной является система автоматической стабилизации неуравновешенного гироскопа (рис. 2.6), движения которого описываются уравнениями

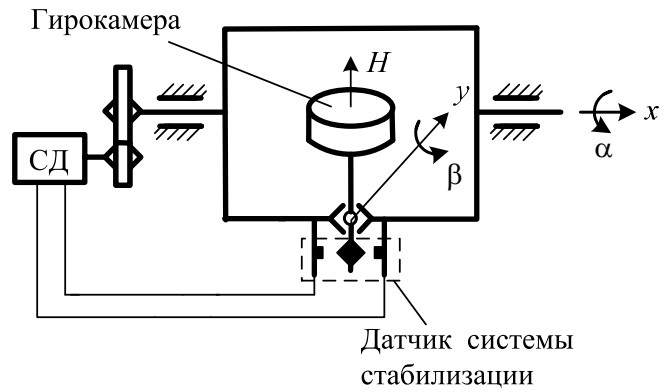


Рис. 2.6

$$J_1 \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + k_\alpha \frac{d\alpha}{dt} - H \frac{d\beta}{dt} = M_{сд}(\beta),$$

$$J_2 \frac{d^2 \beta}{dt^2} + k_\beta \frac{d\beta}{dt} + H \frac{d\alpha}{dt} = M_{вн}(t)?$$

Здесь  $\alpha$  – угол поворота внешней рамки гироскопа относительно основания;  $\beta$  – угол поворота гирокамеры относительно внешней рамки;  $H$  – кинетический момент гироскопа;  $J_1$  – приведенный к оси внешней рамки (оси  $x$ ) момент инерции гирокамеры и внешней рамки;  $J_2$  – момент инерции гирокамеры относительно оси  $y$ ;  $k_\alpha$ ,  $k_\beta$  – коэффициенты вязкого трения;  $M_{вн}$  – момент внешних сил;  $M_{сд}$  – момент стабилизирующего двигателя СД.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) система линейная;
- 2) система нелинейная;
- 3) мало данных.

2.1.9. Линейной или нелинейной является система с входом  $x$  и выходом  $y$ , описываемая дифференциальным уравнением

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy}{dt} + y = k_1 x + k_2 \frac{dx}{dt}?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) система линейная;
- 2) система нелинейная;
- 3) мало данных.

**2.1.10.** Линейна или нелинейна система с входом  $u$  и выходом  $x_1$ , описываемая дифференциальными уравнениями

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2(t); \quad T \frac{dx_1}{dt} + x_1(t) = 3x_2(t) + 10u(t)?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) система линейная;
- 2) система нелинейная;
- 3) мало данных.

**2.1.11.** Линейна или нелинейна система с входом  $u$  и выходом  $x_1$ , описываемая дифференциальными уравнениями

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2(t); \quad \frac{dx_2}{dt} = 3x_1(t)x_2(t) + 10u(t)?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) система линейная;
- 2) система нелинейная;
- 3) мало данных.

**2.1.12.** Линейна или нелинейна система с входом  $g(t)$  и выходом  $y(t)$ , описываемая уравнениями

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) &= g^2(t) - y(t); & \frac{du}{dt} &= k_1 \varepsilon(t); \\ T_1 \frac{dz}{dt} + z(t) &= k_2 u(t); & T_2 \frac{dy}{dt} + y(t) &= k_3 z(t)? \end{aligned}$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) система линейная;
- 2) система нелинейная;
- 3) мало данных.

**2.1.13.** Стационарна или нестационарна система, математическая модель которой приведена в задаче 2.1.11?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) система стационарная;
- 2) система нестационарная;
- 3) мало данных.



**2.2.5.** Определите изображение по Лапласу  $x(s)$  сигнала  $x(t) = \cos \omega t$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) x(s) = \frac{1}{s^2 + \omega^2};$$

$$4) x(s) = \frac{\omega}{s + \omega};$$

$$2) x(s) = \frac{\omega^2}{s^2 + \omega^2};$$

$$5) x(s) = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2}.$$

$$3) x(s) = \frac{s}{s^2 + \omega^2};$$

**2.2.6.** Определите изображение по Лапласу  $x(s)$  сигнала  $x(t) = 1 - e^{-at}$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) x(s) = \frac{a}{(s+a)^2};$$

$$3) x(s) = \frac{s}{s+a};$$

$$2) x(s) = \frac{a}{s+a};$$

$$4) x(s) = \frac{a}{s(s+a)}.$$

**2.2.7.** Запишите уравнение  $T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + y = kx$  в операторной форме, используя преобразование Лапласа, с учетом начальных условий  $y(0) = y_0$ ;  $\frac{dy}{dt}(0) = y'_0$ ;  $x(0) = x_0$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) (T^2 s^2 + 1)y(s) + T^2 y'_0 = kx(s);$$

$$2) (T^2 s^2 + 1)y(s) = kx(s) + T^2 y_0 s + T^2 y'_0;$$

$$3) (T^2 s^2 + 1)y(s) = kx(s) + y_0 s + y'_0;$$

$$4) (T^2 s^2 + 1)y(s) + y_0 s = kx(s);$$

$$5) (T^2 s^2 + 1)y(s) - y'_0 = kx(s).$$

### 2.3. Типовые математические модели состояний и процессов

**2.3.1.** Какова упорядоченная каноническая форма математической модели, описывающей процессы в линейной стационарной непрерывной системе с сосредоточенными параметрами, входом  $u \in R^m$ , выходом  $y \in R^q$  и внутренними переменными  $x \in R^r$ , если в приведенных ниже вариантах ответа в полиномиальных матрицах  $A(p), B(p), C(p)$  аргумент  $p \triangleq d/dt$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $A(p)x(t) = B(p)u(t)$ ;
- 2)  $A(p)y(t) = B(p)u(t)$ ;
- 3)  $A(p)y(t) + B(p)x(t) = C(p)u(t)$ ;
- 4)  $A(p)[x(t) + y(t)] = B(p)u(t)$ ;
- 5)  $A(p)z(t) = B(p)u(t)$ , где  $z = [x^T, y^T]^T$ .

**2.3.2.** Какая из математических моделей линейной стационарной непрерывной системы с сосредоточенными параметрами, входом  $u \in R^m$ , выходом  $y \in R^q$  и внутренними переменными  $x \in R^r$  представлена в форме «вход-выход», если в приводимых ниже вариантах ответа в полиномиальных матрицах  $A(p), B(p), C(p)$  аргумент  $p \triangleq d/dt$ , а вектор  $z \triangleq [x^T, y^T]^T$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $A(p)x(t) = B(p)u(t)$ ;
- 2)  $A(p)y(t) = B(p)u(t)$ ;
- 3)  $A(p)y(t) + B(p)x(t) = C(p)u(t)$ ;
- 4)  $A(p)[x(t) + y(t)] = B(p)u(t)$ ;
- 5)  $A(p)z(t) = B(p)u(t)$ .



**2.3.3.** Какая из математических моделей линейной стационарной непрерывной системы с сосредоточенными параметрами, входом  $u \in R^m$ , выходом  $y \in R^q$  и переменными состояния  $x \in R^n$  представлена в форме «вход-состояние-выход», если в приводимых ниже вариантах ответа в полиномиальных матрицах  $G(p), E(p)$  аргумент  $p \triangleq d/dt$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $G(p)x(t) = E(p)u(t), y(t) = Cx(t)$ ;
- 2)  $Ax(t) = Bu(t), y(t) = Cx(t)$ ;
- 3)  $\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), y(t) = Cx(t) + Du(t)$ ;
- 4)  $\dot{x}(t) = Bu(t), y(t) = Cx(t) + Du(t)$ .

**2.3.4.** Какая из математических моделей линейной стационарной непрерывной системы с сосредоточенными параметрами, входом  $u \in R^m$ , выходом  $y \in R^q$  представлена в дескрипторной форме, если в приводимых ниже вариантах ответа в полиномиальных матрицах  $G(p), E(p)$  аргумент  $p \triangleq d/dt$ , а дескриптор (полусостояние) системы  $x \in R^r$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $G(p)x(t) = E(p)u(t), y(t) = Cx(t)$ ;
- 2)  $A\dot{x}(t) = Bx(t) + Cu(t), y(t) = Dx(t)$ ;
- 3)  $\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), y(t) = Cx(t) + Du(t)$ ;
- 4)  $\dot{x}(t) = Bu(t), y(t) = Cx(t) + Du(t)$ .

**2.3.5.** Какие из приведенных ниже уравнений соответствуют матричному полиномиальному описанию динамической системы с входом  $u(t)$  и выходом  $y(t)$  при использовании в уравнениях дескриптора (полусостояния)  $\xi$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $N(p)\xi(t) = P(p)u(t), y(t) = Q(p)\xi(t) + R(p)u(t)$ ;
- 2)  $N(p)\xi(t) = P(p)u(t), y(t) = \xi(t)$ ;
- 3)  $N(p)\xi(t) = u(t), y(t) = Q(p)\xi(t) + R(p)u(t)$ ;
- 4)  $N(p)\xi(t) = A\xi(t) + Bu(t), y(t) = Q\xi(t) + Ru(t)$ .

**2.3.6.** Определите полиномиальную матрицу системы, описываемой полиномиальными уравнениями

$$N(p)\xi(t) = P(p)u(t); \quad y(t) = Q(p)\xi(t) + R(p)u(t).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) M(s) = \begin{bmatrix} N(s) & P(s) \\ -Q(s) & R(s) \end{bmatrix}; \quad 3) M(s) = \begin{bmatrix} N(s) & Q(s) \\ P(s) & R(s) \end{bmatrix};$$

$$2) M(s) = \begin{bmatrix} N(s) & P(s) \\ Q(s) & R(s) \end{bmatrix}; \quad 4) M(s) = \begin{bmatrix} Q(s) & R(s) \\ N(s) & P(s) \end{bmatrix}.$$

**2.3.7.** Какая из приведенных ниже матриц является системной матрицей (матрицей Розенброка)  $H(s)$  для системы, описываемой векторно-матричными уравнениями

$$\dot{x}(t) = Ax + Bu; \quad y = Cx + Du?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) H(s) = \begin{bmatrix} sI - A & B \\ C & D \end{bmatrix}; \quad 3) H(s) = \begin{bmatrix} sI - A & B \\ -C & D \end{bmatrix};$$

$$2) H(s) = \begin{bmatrix} A - sI & B \\ -C & D \end{bmatrix}; \quad 4) H(s) = \begin{bmatrix} A - sI & B \\ C & D \end{bmatrix}.$$

**2.3.8.** Какова размерность системной матрицы (матрицы Розенброка) у системы, описываемой моделью «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = Ax + Bu; \quad y = Cx + Du,$$

в которой вектор состояния  $x \in R^n$ , вектор управления  $u \in R^m$  и вектор выхода  $y \in R^q$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) n + q; \quad 3) (n + m) \times (n + q); \quad 5) (n \cdot m) \times (n \cdot q). \\ 2) (n + q) \times (n + m); \quad 4) n + m;$$

## 2.4. Приведение математических моделей к типовым формам

2.4.1. Для системы с входом  $u(t)$  и выходом  $y(t)$ , описываемой уравнениями

$$\varepsilon(t) = u(t) - y(t); \quad \frac{dz}{dt} = k_1 \varepsilon(t); \quad \frac{dy}{dt} + y(t) = k_2 z(t),$$

сформируйте математическую модель упорядоченной канонической формы, введя обозначения

$$x_1 \triangleq \varepsilon, \quad x_2 \triangleq z, \quad x_3 \triangleq y, \quad x \triangleq [x_1, x_2, x_3]^T, \quad p \triangleq \frac{d}{dt}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \begin{bmatrix} p+1 & -k_2 & 0 \\ 0 & -p & k_1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t);$$

$$2) \begin{bmatrix} 0 & -k_2 & p+1 \\ k_1 & -p & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t);$$

$$3) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ k_1 & -p & 0 \\ 0 & -k_2 & p+1 \end{bmatrix} x(t) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t).$$

2.4.2. Для системы, описанной в задаче 2.4.1, составьте математическую модель в форме «вход-выход».

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + y(t) = k_1 k_2 u(t);$$

$$2) \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + k_1 k_2 y(t) = u(t);$$

$$3) \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} - k_1 k_2 y(t) = u(t);$$

$$4) \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + k_1 k_2 y(t) = k_1 k_2 u(t).$$

**2.4.3.** Для системы, описанной в задаче 2.4.1, составьте математическую модель в форме «вход-состояние-выход», используя обозначения

$$x_1 \triangleq y, \quad x_2 \triangleq \frac{dy}{dt}, \quad x \triangleq [x_1, x_2]^T.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_1 k_2 & -1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ k_1 k_2 \end{bmatrix} u(t), \quad y(t) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} x(t);$$

$$2) \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_1 k_2 & -1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ k_1 k_2 \end{bmatrix} u(t), \quad y(t) = [1 \quad 0] x(t);$$

$$3) \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -k_1 k_2 & -1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} k_1 k_2 \\ 0 \end{bmatrix} u(t), \quad y(t) = [1 \quad 0] x(t);$$

$$4) \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ k_1 k_2 & 1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} -k_1 k_2 \\ 0 \end{bmatrix} u(t), \quad y(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} x(t).$$

**2.4.4.** По заданному дифференциальному уравнению системы

$$2 \frac{d^2 y}{dt^2} + y(t) = 2u(t)$$

определите матрицы  $A, B, C$  её модели в пространстве состояний

$$\dot{x}(t) = Ax + Bu; \quad y = Cx.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0,5 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0];$$

$$2) A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0,5 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 1];$$

$$3) A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -0,5 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 1];$$

$$4) A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0,5 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0].$$

**2.4.5.** По заданному дифференциальному уравнению системы

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 5 \frac{dy}{dt} + y(t) = 4u(t)$$

определите матрицы  $A, B, C$  её модели в пространстве состояний

$$\dot{x}(t) = Ax + Bu; \quad y = Cx.$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

$$1) \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -5 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0];$$

$$2) \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -5 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0];$$

$$3) \quad A = \begin{bmatrix} -1 & -5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 1].$$

**2.4.6.** Для системы с входом  $u(t)$  и выходом  $y(t)$ , процессы в которой описываются уравнениями

$$0,2 \frac{dy}{dt} + y(t) = 5z(t), \quad 0,1 \frac{d^2 z}{dt^2} + 4 \frac{dz}{dt} + z(t) = 10u(t),$$

составьте модель в форме “вход-состояние-выход”, приняв в качестве переменных состояния

$$x_1 = z; \quad x_2 = \frac{dz}{dt}; \quad x_3 = y; \quad x \triangleq [x_1, x_2, x_3]^T.$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

$$1) \quad \frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 0 \\ 5 & 0 & -0,2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix} u; \quad y = [1 \quad 0 \quad 0] x;$$

$$2) \quad \frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 25 & 0 & -5 \\ 10 & -40 & 0 \\ 25 & 0 & 5 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix} u; \quad y = [0 \quad 1 \quad 0] x;$$

$$3) \quad \frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -10 & -40 & 0 \\ 25 & 0 & -5 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix} u; \quad y = [0 \quad 0 \quad 1] x.$$

**2.4.7.** Для системы с входом  $u(t)$  и выходом  $y(t)$ , процессы в которой описываются уравнениями

$$\frac{dy}{dt} + 2y(t) = 5z(t), \quad 0,5 \frac{d^2z}{dt^2} + z(t) = 10 u(t),$$

составьте модель в форме “вход-состояние-выход”, приняв в качестве переменных состояния

$$x_1 = z, \quad x_2 = \frac{dz}{dt}; \quad x_3 = y.$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1)  $\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \\ 5 & 0 & -2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix} u, \quad y = [0 \quad 1 \quad 0] x;$
- 2)  $\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & -2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 20 \\ 0 \end{bmatrix} u, \quad y = [0 \quad 0 \quad 1] x;$
- 3)  $\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 5 & 0 & -2 \\ -2 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & -2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 20 \\ 0 \end{bmatrix} u, \quad y = [0 \quad 1 \quad 0] x;$
- 4)  $\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix} u, \quad y = [0 \quad 0 \quad 1] x.$

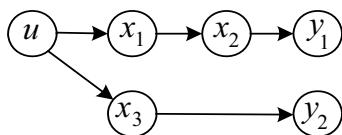
**2.4.8.** Постройте диграф системы, описываемой моделью типа «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = Ax + Bu; \quad y = Cx,$$

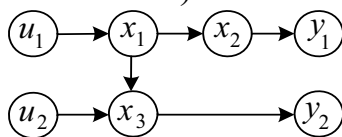
у которой

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 4 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

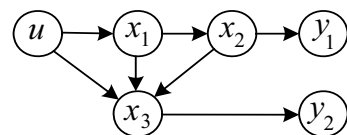
**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**



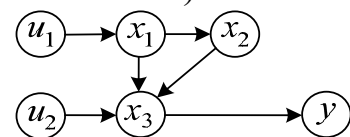
1)



2)



3)



4)

**2.4.9.** По приведенному на рис. 2.7 диграфу системы составьте скелетные  $(0,1)$ -матрицы  $\overline{A}$ ,  $\overline{B}$ ,  $\overline{C}$  её модели в форме «вход-состояние-выход».

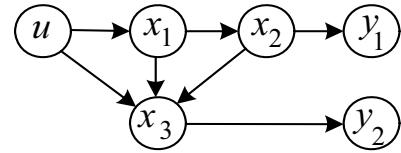


Рис. 2.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{aligned}
 1) \quad A &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, & B &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, & C &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 2) \quad A &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, & B &= \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, & C &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 3) \quad A &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, & B &= [1 \quad 0 \quad 1], & C &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 4) \quad A &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, & B &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, & C &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

**2.4.10.** По приведенному на рис. 2.8 диграфу системы составьте скелетные  $(0,1)$ -матрицы  $\overline{A}$ ,  $\overline{B}$ ,  $\overline{C}$  её модели в форме «вход-состояние-выход».

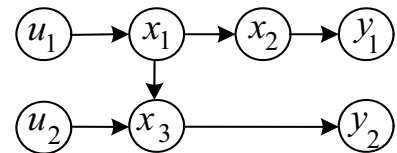


Рис. 2.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{aligned}
 1) \quad A &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, & B &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, & C &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 2) \quad A &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, & B &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, & C &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 3) \quad A &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, & B &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, & C &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

## ГЛАВА 3

### ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 3.1. Передаточные функции и передаточные матрицы

**3.1.1.** Что называется передаточной функцией линейной стационарной обыкновенной непрерывной системы с одним входом и одним выходом?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) отношение выходного сигнала к входному;
- 2) отношение выходного сигнала к входному при нулевых начальных условиях;
- 3) отношение изображения по Лапласу входного сигнала к изображению по Лапласу выходного сигнала;
- 4) отношение изображения по Лапласу выходного сигнала к изображению по Лапласу входного сигнала;
- 5) отношение изображения по Лапласу выходного сигнала к изображению по Лапласу входного сигнала при нулевых начальных условиях.

**3.1.2.** Определите передаточную функцию  $W(s) = \frac{y(s)}{x(s)}$  системы, описываемой уравнением

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + y = k x.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| 1) $\frac{k}{(T^2 s^2 + 1)} + y_0 s + \dot{y}_0$ ; | 3) $\frac{k}{(T^2 s^2 + 1)}$ ; |
| 2) $\frac{k}{(T^2 s^2 + 1)} + y_0 s$ ;             | 4) $\frac{k}{(T^2 s + 1)}$ .   |



3.1.3. Определите передаточную функцию  $W(s) = \frac{u_2(s)}{u_1(s)}$  системы,

описываемой уравнением

$$T_1 T_2 \frac{d^2 u_2}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{du_2}{dt} + u_2 = k u_1.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{k}{T_1 T_2 + (T_1 + T_2) + 1}$ ;      3)  $\frac{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + 1}{k}$ ;
- 2)  $\frac{k}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + 1}$ ;      4)  $\frac{T_1 T_2 + (T_1 + T_2) + 1}{k}$ .

3.1.4. Определите передаточную функцию  $W(s) = \frac{y(s)}{x(s)}$  системы, описываемой уравнением

$$T \frac{dy}{dt} + y(t - \tau) = k x(t).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{k}{Ts + 1}$ ;      3)  $\frac{k}{Ts + e^{-\tau s}}$ ;      5)  $\frac{k}{Te^{-\tau s} s + 1}$ .
- 2)  $\frac{k e^{-\tau s}}{Ts + 1}$ ;      4)  $\frac{k}{Ts + e^{\tau s}}$ .

3.1.5. Какой передаточной функцией описывается RC-четырёхполюсник с входом  $u_1$  и выходом  $u_2$ , схема которого приведена на рис. 3.1?

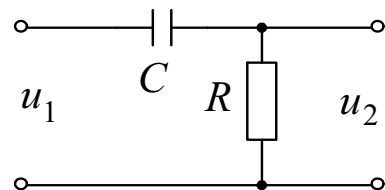


Рис. 3.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $e^{-\tau s}$ ;
- 2)  $\frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$ , где  $T_2 < T_1$ ;
- 3)  $\frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$ , где  $T_2 > T_1$ ;
- 4)  $\frac{T s}{T s + 1}$ ;
- 5)  $\frac{k}{s}$ .

3.1.6. Какой передаточной функцией описывается  $RC$ -четырёхполюсник с входом  $u_1$  и выходом  $u_2$ , схема которого приведена на рис. 3.2?

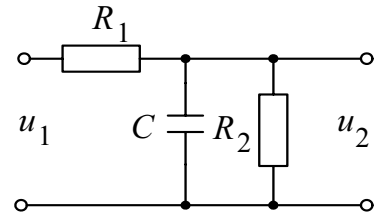


Рис. 3.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$ , где  $T_2 > T_1$ ;      3)  $\frac{k s}{T s + 1}$ ;      5)  $\frac{k}{s}$ .  
 2)  $\frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$ , где  $T_2 < T_1$ ;      4)  $\frac{k}{T s + 1}$ ;

3.1.7. Какой передаточной функцией  $W(s) = \frac{u(s)}{\omega(s)}$  можно описать приведенный на рис. 3.3 тахогенератор?

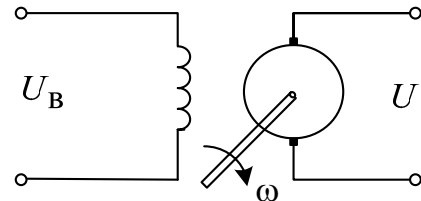


Рис. 3.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{k}{s}$ ;      3)  $T s$ ;      5)  $\frac{k(T_1 s + 1)}{T_2 s + 1}$ .  
 2)  $\frac{k T s}{T s + 1}$ ;      4)  $k$ ;

3.1.8. Какой передаточной функцией можно описать связь угла поворота  $\alpha$  и напряжения якоря  $U$  у двигателя постоянного тока независимого возбуждения (рис. 3.4) при допущении, что индуктивное сопротивление его якорной цепи  $L = 0$ , а активное  $R \neq 0$ ?

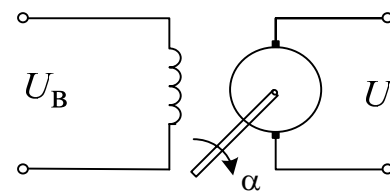


Рис. 3.4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{k}{T_1 T_2 s^2 + T_2 s + 1}$ ;      3)  $\frac{k s}{T s + 1}$ ;      5)  $\frac{k}{(T s + 1) s}$ .  
 2)  $\frac{k}{T s + 1}$ ;      4)  $\frac{k(T_1 s + 1)}{(T_1 T_2 s^2 + T_2 s + 1) s}$ ;

**3.1.9.** Вычислите передаточную функцию  $W(s) = \frac{y(s)}{u(s)}$  линейной

системы  $\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$ ,  $y(t) = Cx(t)$  при условии, что

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 0 & -2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}, \quad C = [-1 \quad 1].$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1) $W(s) = \frac{2s}{(s+1)(s+2)}$ ; | 3) $W(s) = \frac{s-4}{(s+1)(s+2)}$ ; |
| 2) $W(s) = \frac{1}{s+1}$ ;         | 4) $W(s) = \frac{1}{s+2}$ .          |

**3.1.10.** Вычислите передаточную функцию  $W(s)$  линейной системы

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t)$$

при условии, что

$$A = \begin{bmatrix} -1 & -2 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & -2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0 \quad 0].$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1) $W(s) = \frac{s}{(s+1)(s+2)}$ ; | 3) $W(s) = \frac{s+2}{s(s+3)}$ ; |
| 2) $W(s) = \frac{s}{(s+3)(s+2)}$ ; | 4) $W(s) = \frac{s+3}{s(s+2)}$ . |

**3.1.11.** Что понимается под передаточной матрицей линейной стационарной обыкновенной непрерывной системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) матрица статических коэффициентов передачи между выходами и входами системы;
- 2) матрица коэффициентов передачи между выходами и входами системы;
- 3) матрица, элементами которой являются передаточные функции между выходами и входами системы;
- 4) матрица, сформированная из передаточных функций системы так, что её  $(i, j)$ -м элементом является передаточная функция между  $i$ -м выходом и  $j$ -м входом системы.

**3.1.12.** Определите передаточную матрицу для системы, модель типа «вход-состояние-выход» которой

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $C(sI - A)B$ ;                      3)  $\frac{CB}{sI - A}$ ;                      5)  $\frac{BC}{sI - A}$ .  
 2)  $C(sI - A)^{-1}B$ ;                      4)  $\frac{C}{sI - A}$ ;

**3.1.13.** Определите передаточную матрицу системы с входом  $u(t)$  и выходом  $y(t)$ , описываемой матричными полиномиальными уравнениями

$$N(p)\xi(t) = P(p)u(t); \quad y(t) = \xi(t), \text{ где } p \triangleq \frac{d}{dt}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W(s) = N^{-1}(s)P(s)$ ;                      4)  $W(s) = N(s)P^{-1}(s)$ ;  
 2)  $W(s) = N(s)P(s)$ ;                      5) мало данных.  
 3)  $W(s) = \frac{P(s)}{N(s)}$ ;

**3.1.14.** Для системы, описываемой моделью типа «вход-состояние-выход»  $\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$ ;  $y(t) = Cx(t)$ , у которой

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 4 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

определите её передаточную матрицу  $W(s)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W(s) = \begin{bmatrix} \frac{5}{s-1} & \frac{4}{s-1} \end{bmatrix}$ ;                      3)  $W(s) = \begin{bmatrix} \frac{s+5}{(s+1)(s-1)} & \frac{1}{s-1} \end{bmatrix}$ ;  
 2)  $W(s) = \begin{bmatrix} -\frac{5}{s-1} \\ \frac{4}{s-1} \end{bmatrix}$ ;                      4)  $W(s) = \begin{bmatrix} \frac{s+5}{(s+1)(s-1)} \\ \frac{1}{s-1} \end{bmatrix}$ .

**3.1.15.** Определите передаточную матрицу  $W_{yu}(s)$  системы, матричное полиномиальное описание которой имеет вид:

$$N(p)\xi(t) = P(p)u(t); \quad y(t) = Q(p)\xi(t) + R(p)u(t).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $W_{yu}(s) = Q(s)N(s)P(s) + R(s);$

2)  $W_{yu}(s) = Q(s)N^{-1}(s)P(s) + R(s);$

3)  $W_{yu}(s) = \frac{Q(s)}{N(s)}P(s) + R(s);$

4)  $W_{yu}(s) = R(s).$

**3.1.16.** Определите передаточную матрицу  $W(s)$  системы, процессы в которой описываются моделью

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 2 \\ 0 & -2 & 1 \\ -1 & -3 & 0 \end{bmatrix} \cdot x(t) + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix} \cdot u(t); \quad y(t) = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \cdot x(t).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $W(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 5s + 5} & \frac{5s}{s^3 + 2s^2 + 5s + 5} \\ -\frac{2(s+2)}{s^3 + 2s^2 + 5s + 5} & \frac{10s(s+2)}{s^3 + 2s^2 + 5s + 5} \end{bmatrix};$

2)  $W(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s(s^2 + 2s + 5)} & \frac{5s}{s(s^2 + 2s + 5)} \\ -\frac{2(s+2)}{s(s^2 + 2s + 5)} & \frac{10s(s+2)}{s(s^2 + 2s + 5)} \end{bmatrix};$

3)  $W(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s(s^2 + 2s + 5)} & \frac{5s}{s(s^2 + 2s + 5)} \\ \frac{2(s+2)}{s(s^2 + 2s + 5)} & \frac{10s(s+2)}{s(s^2 + 2s + 5)} \end{bmatrix}.$

**3.1.17.** Определите передаточную матрицу системы, описываемой уравнениями

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t),$$

где

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0,5 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0].$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1) $W(s) = \frac{2s^2+1}{2};$ | 3) $W(s) = \frac{2}{2s^2+1};$  |
| 2) $W(s) = \frac{2s+1}{2};$   | 4) $W(s) = -\frac{2}{2s^2+1}.$ |

**3.1.18.** Из какого уравнения определяются полюса системы, описываемой передаточной функцией

$$W(s) = \frac{B(s)}{A(s)}?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| 1) $A(s) + B(s) = 0;$ | 3) $B(s) = 0;$  |
| 2) $A(s) = 0;$        | 4) мало данных. |

**3.1.19.** Из какого уравнения определяются нули системы, описываемой передаточной функцией

$$W(s) = \frac{B(s)}{A(s)}?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| 1) $A(s) + B(s) = 0;$ | 3) $B(s) = 0;$  |
| 2) $A(s) = 0;$        | 4) мало данных. |

**3.1.20.** Определите полюса системы, описываемой передаточной функцией

$$W(s) = \frac{10(0,1s+1)}{s(s+1)(0,5s+1)}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 1) $s = -10;$                     | 3) $s_1 = -1; s_2 = -2;$                     |
| 2) $s_1 = 0; s_2 = -1; s_3 = -2;$ | 4) $s_1 = 0; s_2 = -1; s_3 = -2; s_4 = -10.$ |

**3.1.21.** Определите нули системы, описываемой передаточной функцией

$$W(s) = \frac{10(s^2 + 4s + 4)}{s(s+1)^2(5s+1)}.$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1)  $s_1 = 0; s_2 = -1; s_3 = -1; s_4 = -2;$
- 2)  $s_1 = -2; s_2 = -2;$
- 3)  $s_1 = 0; s_2 = -1; s_3 = -2;$
- 4)  $s_1 = 0; s_2 = -1; s_3 = -1; s_4 = -2; s_4 = -2; s_4 = -2.$

### 3.2. Типовые временные характеристики

**3.2.1.** Какова связь между переходной функцией  $h(t)$  и передаточной функцией  $W(s)$  системы?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1)  $h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} W(s)e^{-st} ds;$
- 2)  $h(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_0^{\infty} \frac{W(s)}{s} e^{-st} ds;$
- 3)  $h(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \frac{W(s)}{s} e^{st} ds;$
- 4)  $h(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} W(s) e^{-st} ds;$
- 5)  $h(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \operatorname{Re} |W(j\omega)| d\omega.$





3.2.5. Какой график переходной функции соответствует  $RC$ -четырепольнику, электрическая схема которого приведена на рис. 3.6?

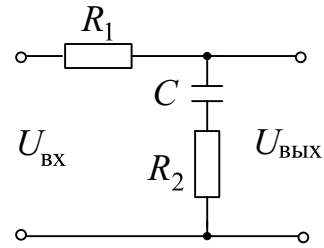
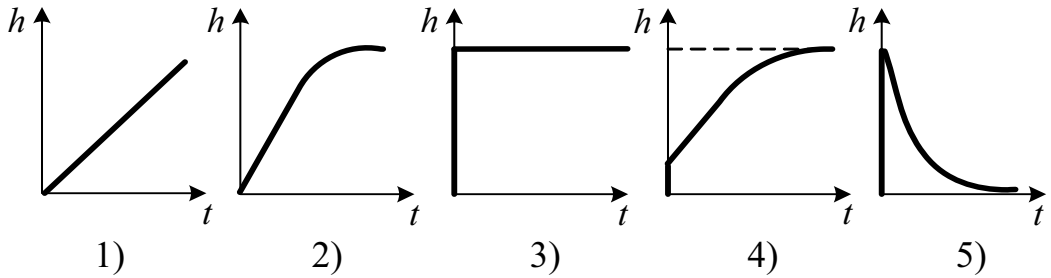


Рис. 3.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.2.6. Какой график переходной функции соответствует четырехпольнику, электрическая схема которого приведена на рис. 3.7?

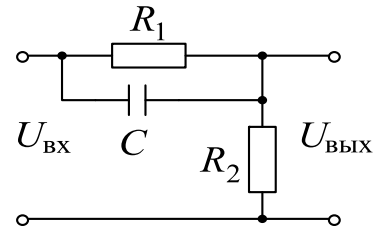
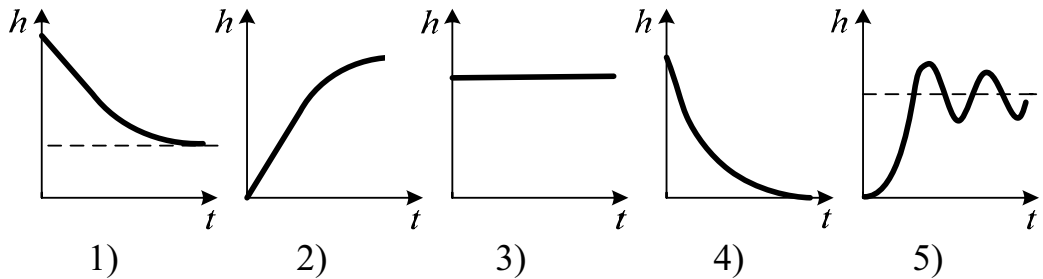


Рис. 3.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.2.7. Какой график имеет переходная функция  $y(t)$  резервуара (рис. 3.8), наполняемого жидкостью с постоянным давлением  $x$ ?

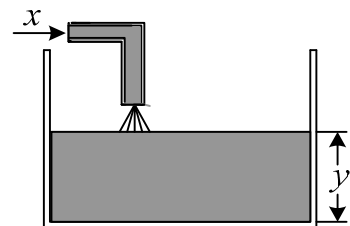
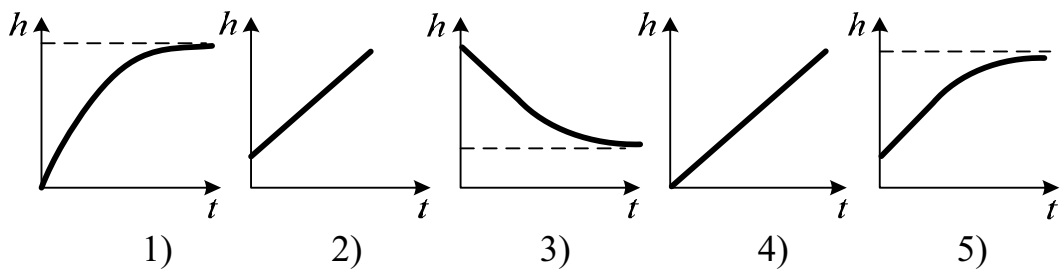


Рис. 3.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.2.8. Какой график переходной функции соответствует ленточному транспортеру, приведенному на рис. 3.9?

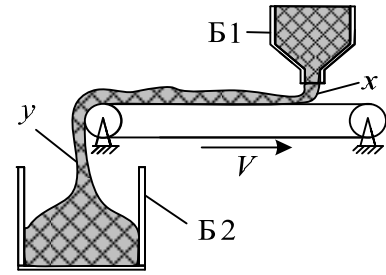
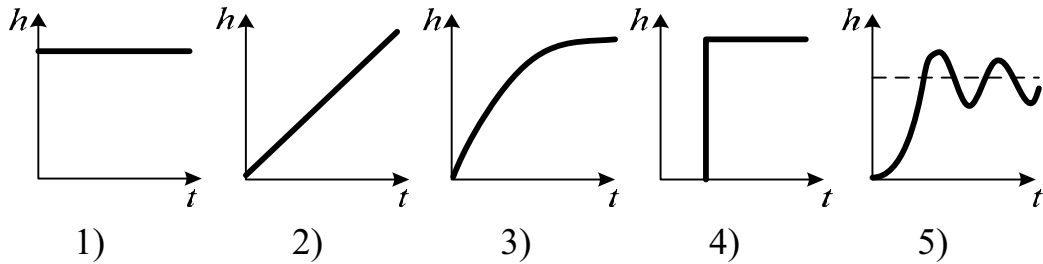


Рис. 3.9

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.2.9. Чему равно установившееся значение переходной функции  $LR$ -четырёхполюсника, схема которого показана на рис. 3.10?

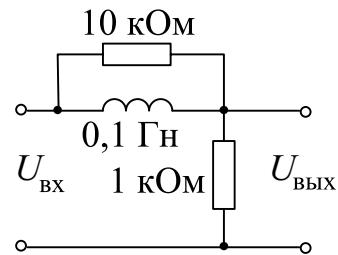


Рис. 3.10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 10 В; 2) 1/11 В; 3) 9 В; 4) 1 В; 5) 0 В.

3.2.10. Чему равно начальное  $h(0_+)$  и конечное  $h(\infty)$  значения переходной функции четырехполюсника, приведенного на рис. 3.11?

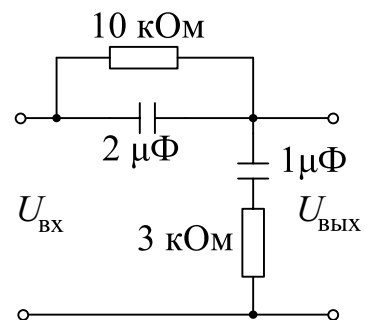


Рис. 3.11

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $h(0_+) = 0, h(\infty) = 0$ ;  
 2)  $h(0_+) = 1, h(\infty) = 0$ ;  
 3)  $h(0_+) = 0, h(\infty) = 1$ ;  
 4)  $h(0_+) = 1, h(\infty) = 1/3$ .

3.2.11. Чему равно конечное значение весовой функции у четырехполюсника, схема которого показана на рис. 3.15?

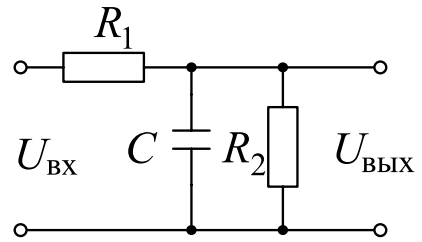


Рис. 3.15

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2)  $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ;      3)  $\frac{R_1 + R_2}{R_1}$ ;      4)  $\infty$ .

3.2.12. Какой график весовой функции  $w(t)$  соответствует четырехполюснику с приведенной на рис. 3.12 схемой?

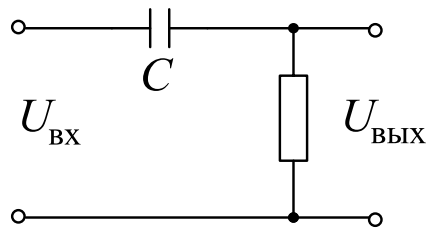
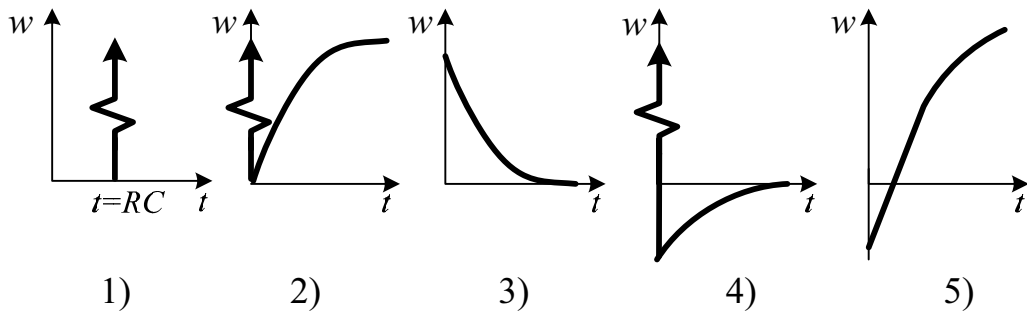


Рис. 3.12

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.2.13. Какой график весовой функции  $w(t)$  соответствует четырехполюснику, электрическая схема которого приведена на рис. 3.13?

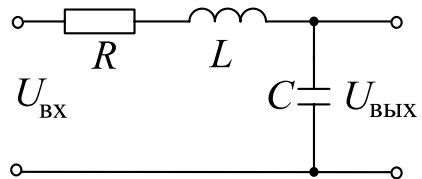
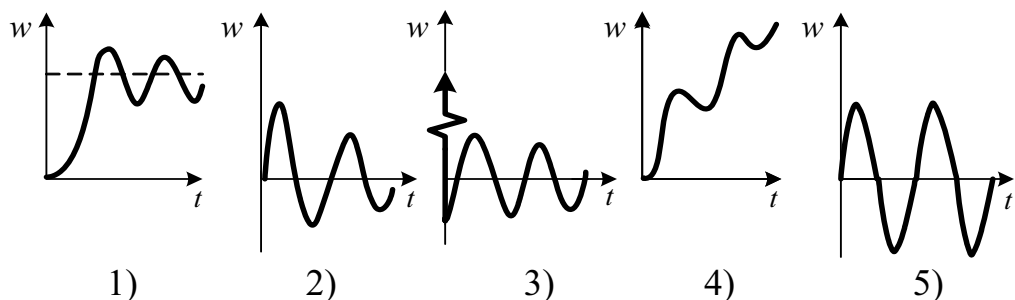


Рис. 3.13

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



### 3.3. Частотные характеристики

3.3.1. Какова связь между амплитудно-фазовой частотной характеристикой  $W(j\omega)$  и передаточной функцией  $W(s)$  системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W(j\omega) = |W(s)|_{s=j\omega}$ ;      3)  $W(j\omega) = 20 \lg |W(s)|_{s=j\omega}$ ;  
2)  $W(j\omega) = W(s)|_{s=j\omega}$ ;      4)  $W(j\omega) = \arg W(s)|_{s=j\omega}$ .

3.3.2. Какова связь между амплитудно-частотной характеристикой  $A(\omega)$  и передаточной функцией  $W(s)$  системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $A(\omega) = 20 \lg W(s)|_{s=j\omega}$ ;      4)  $A(\omega) = \operatorname{Re} |W(s)|_{s=j\omega}$ ;  
2)  $A(\omega) = 20 \lg \operatorname{Re} |W(s)|_{s=j\omega}$ ;      5)  $A(\omega) = W(s)|_{s=j\omega}$ .  
3)  $A(\omega) = |W(s)|_{s=j\omega}$ ;

3.3.3. Определите аналитическое выражение для амплитудно-частотной характеристики, соответствующее передаточной функции

$$W(s) = \frac{15}{(1+s)(1+2s)}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{15}{(1+j\omega)(1+j2\omega)}$ ;      4)  $\frac{15}{\sqrt{(1+\omega^2)(1+4\omega^2)}}$ ;  
2)  $\frac{15}{\sqrt{(1+s)^2(1+4s)^2}}$ ;      5)  $\frac{15}{(1+\omega^2)(1+4\omega^2)}$ .  
3)  $\frac{15}{\sqrt{(1+j\omega)(1+j2\omega)}}$ ;

**3.3.4.** Определите аналитическое выражение для амплитудно-частотной характеристики, соответствующее передаточной функции

$$W(s) = \frac{10s}{(1+0,2s)^2}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{10\omega}{(1+0,2\omega)^2}$ ;                      4)  $\frac{1,6\omega^3}{\sqrt{(1+0,04\omega^2)^2 + 0,16\omega^2}}$ ;
- 2)  $\frac{10\omega}{\sqrt{1+0,04\omega^2}}$ ;                      5)  $\frac{10\omega}{1+0,04\omega^2}$ .
- 3)  $\frac{10\omega(1+0,2\omega^2)}{\sqrt{(1+0,04\omega^2)^2 + 0,16\omega^2}}$ ;

**3.3.5.** Определите аналитическое выражение для амплитудно-частотной характеристики, соответствующее передаточной функции

$$W(s) = \frac{100}{s(s+0,5)^2}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{100}{\omega(\omega^2 + 0,25)}$ ;                      3)  $\frac{100}{(j\omega + 0,5)^2}$ ;                      5)  $\frac{100}{\omega\sqrt{1 + 4\omega^2}}$ .
- 2)  $\frac{100}{\omega\sqrt{\omega^2 + 0,25}}$ ;                      4)  $\frac{200}{\omega(1 + 4\omega^2)}$ ;

**3.3.6.** Определите предельное значение амплитудно-частотной характеристики при  $\omega = \infty$  для системы с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{10s}{(1+0,2s)^2}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;                      2)  $\infty$ ;                      3) 50;                      4) 10;                      5) 25.

**3.3.7.** Определите аналитическое выражение для фазовой частотной характеристики, соответствующее передаточной функции

$$W(s) = \frac{150}{s(s+5)^2}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |  |
|--|--|
| 1) $-\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} 0,2\omega;$                    | 4) $-\operatorname{arctg} \frac{25-\omega^2}{10\omega};$ |
| 2) $-2 \operatorname{arctg} 0,2\omega;$                                  | 5) $-\frac{\pi}{2} - 2 \operatorname{arctg} 0,2\omega.$  |
| 3) $-\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{10\omega}{25-\omega^2};$ |  |

**3.3.8.** Определите аналитическое выражение для фазовой частотной характеристики, соответствующее передаточной функции

$$W(s) = \frac{150(s+0,5)}{s(3s+1)^2}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |  |
|--|--|
| 1) $-\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \omega - 2 \operatorname{arctg} 3\omega;$                      | 4) $-\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} 2\omega - 2 \operatorname{arctg} 3\omega;$                   |
| 2) $\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} 3\omega - \operatorname{arctg} 2\omega;$                        | 5) $-\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} 2\omega - \operatorname{arctg} \frac{6\omega}{1-9\omega^2}.$ |
| 3) $-\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} 0,5\omega - \operatorname{arctg} \frac{6\omega}{1-9\omega^2};$ |  |

**3.3.9.** Определите аналитическое выражение для фазовой частотной характеристики, соответствующее передаточной функции

$$W(s) = \frac{10(0,1s+1)}{s^2(0,5s+1)^2(s+1)}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $-\pi + \operatorname{arctg} 0,1\omega - \operatorname{arctg} \frac{2\omega - 0,25\omega^3}{1 - 1,25\omega^2};$
- 2)  $-\frac{\pi}{2} - 2 \operatorname{arctg} 0,5\omega - \operatorname{arctg} \omega;$
- 3)  $-\pi + \operatorname{arctg} 0,1\omega - 2 \operatorname{arctg} 0,5\omega - \operatorname{arctg} \omega;$
- 4)  $-\pi + \operatorname{arctg} 10\omega - 2 \operatorname{arctg} 2\omega - \operatorname{arctg} \omega.$

3.3.10. Определите вид графика фазовой частотной характеристики системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 3.16, в разомкнутом состоянии.

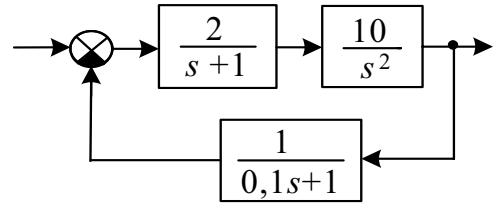
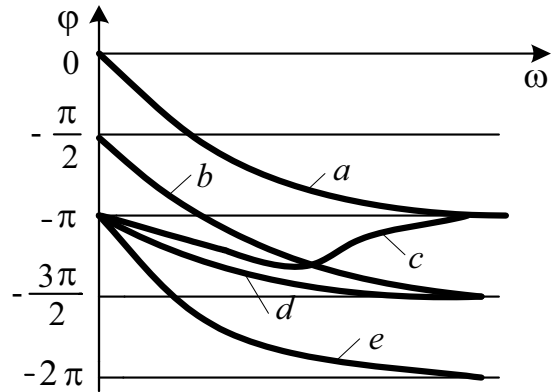


Рис. 3.16

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a$ ;
- 2)  $b$ ;
- 3)  $c$ ;
- 4)  $d$ ;
- 5)  $e$ .



3.3.11. Какая из приведенных на рис. 3.17 фазовых частотных характеристик соответствует передаточной функции

$$W(s) = \frac{10(s+1)}{s(0,5s+1)^2}?$$

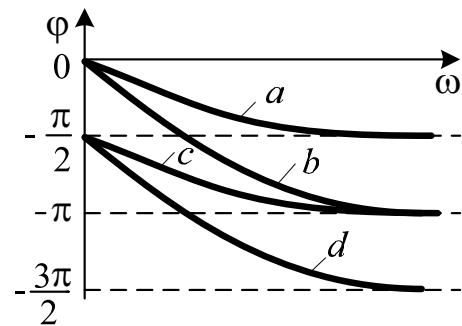


Рис. 3.17

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a$ ;
- 2)  $b$ ;
- 3)  $c$ ;
- 4)  $d$ .

3.3.12. Определите аналитическое выражение фазовой частотной характеристики системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 3.18.

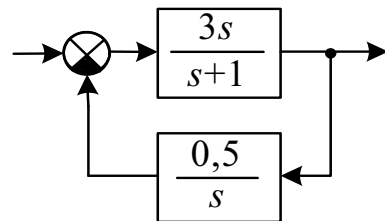


Рис. 3.18

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{\pi}{2} - \arctg 0,25 \omega$ ;
- 2)  $-\frac{\pi}{2} - 2 \arctg 0,5 \omega$ ;
- 3)  $\frac{\pi}{2} - \arctg 0,4 \omega$ ;
- 4)  $\frac{\pi}{2} + 2 \arctg 0,25 \omega$ ;
- 5)  $\frac{\pi}{2} + 2 \arctg \frac{\omega}{1 - 0,25 \omega^2}$ .

3.3.13. Определите предельное значение при  $\omega \rightarrow 0$  фазовой частотной характеристики системы с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{15}{s(0,5s+1)(2s+1)}.$$

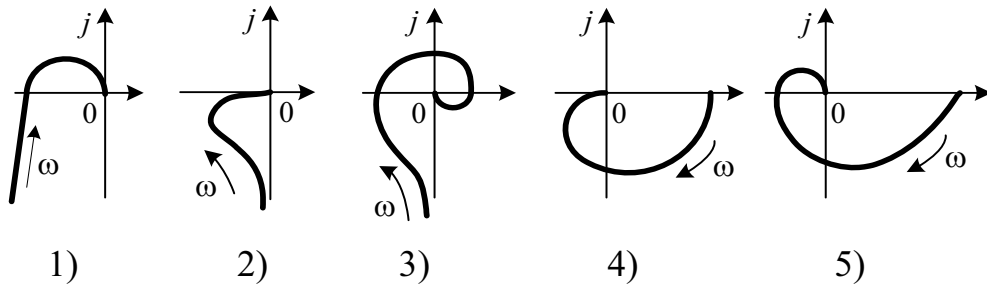
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2)  $-\frac{3}{2}\pi$ ;      3)  $\frac{3}{2}\pi$ ;      4)  $\frac{1}{2}\pi$ ;      5)  $-\frac{1}{2}\pi$ .

3.3.14. Определите вид амплитудно-фазового годографа, соответствующего передаточной функции

$$W(s) = \frac{15}{s(0,5s+1)(2s+1)}.$$

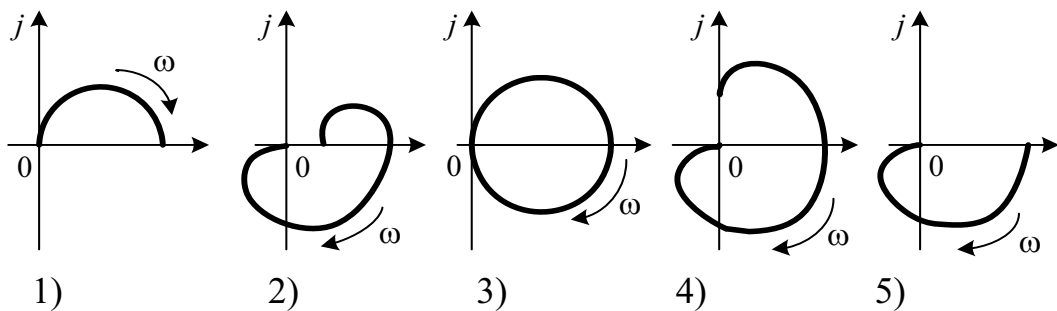
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.15. Определите амплитудно-фазовый годограф, соответствующий передаточной функции

$$W(s) = \frac{10s}{(1+0,2s)^2}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

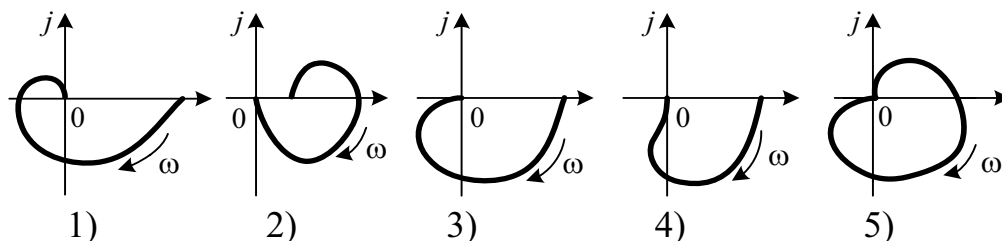




**3.3.16.** Определите амплитудно-фазовый годограф, соответствующий передаточной функции

$$W(s) = \frac{5(1 + 0,1s)}{(1 + s)(1 + 2s)}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**3.3.17.** Если значение логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) системы с входом  $x(t)$  и выходом  $y(t)$  на частоте  $\omega_0$  равняется 20 дБ, то что это означает?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) что отношение выходного сигнала  $y(t)$  к входному сигналу  $x(t)$  в системе равно 10;
- 2) что отношение выходного сигнала  $y(t)$  к входному сигналу  $x(t)$  в системе равно 20;
- 3) что при входном гармоническом сигнале  $x(t)$  частоты  $\omega_0$  амплитуда выходной переменной  $y(t)$  будет в установившемся режиме в 10 раз больше амплитуды  $x(t)$ ;
- 4) что при входном гармоническом сигнале  $x(t)$  частоты  $\omega_0$  амплитуда выходной переменной  $y(t)$  будет в установившемся режиме в 20 раз больше амплитуды  $x(t)$ .

**3.3.18.** Чему соответствует одна декада на графиках логарифмических амплитудных и фазовых частотных характеристик?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) диапазону частот от 0 до 10 1/с;
- 2) диапазону частот от 1 до 10 1/с;
- 3) диапазону частот от какой-либо произвольной частоты  $\omega$  до её десятикратного значения;
- 4) диапазону частот от какой-либо произвольной частоты  $\omega$  до её удвоенного значения.

**3.3.19.** Определите аналитическое выражение для ЛАЧХ, соответствующей передаточной функции

$$W(s) = \frac{40(s+1)}{s(1+0,1s)}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $20 \lg 40 + 20 \lg \sqrt{1+\omega^2} - 20 \lg \omega - 20 \lg \sqrt{1+0,01\omega^2}$ ;
- 2)  $40 + 20 \lg \sqrt{1+\omega^2} - 20 \lg \sqrt{1+0,1\omega^2} - 20 \lg \omega$ ;
- 3)  $20 \lg 40 + 20 \lg(1+\omega^2) - 20 \lg \omega - 20 \lg(1+0,01\omega^2)$ ;
- 4)  $20 \lg 40 + 20 \lg \sqrt{1+\omega^2} + 20 \lg \sqrt{1+0,1\omega^2} + 20 \lg \omega$ .

**3.3.20.** Определите аналитическое выражение для логарифмической амплитудной частотной характеристики (ЛАЧХ), соответствующей передаточной функции

$$W(s) = \frac{10s}{(1+0,2s)(1+s)}.$$

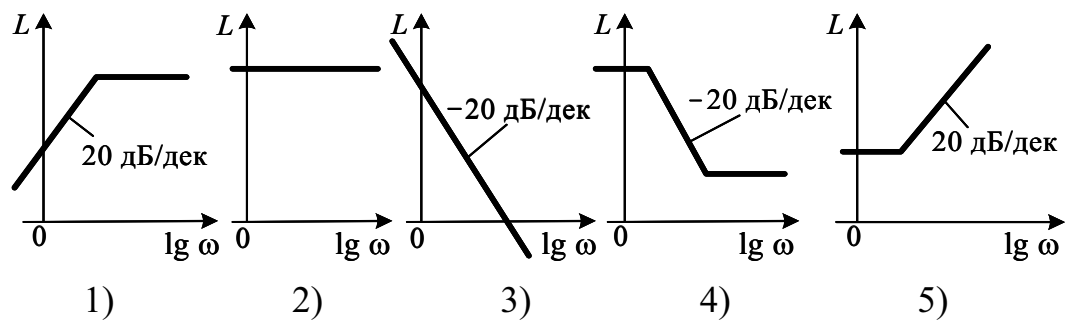
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $10 + 20 \lg \omega - 20 \lg(1+0,2\omega) - 20 \lg(1+\omega)$ ;
- 2)  $10 + \omega + \sqrt{1+\omega^2} - \sqrt{1+0,04\omega^2}$ ;
- 3)  $20 + 20 \lg \omega - 20 \lg \sqrt{1+0,2\omega} + 20 \lg \sqrt{1+\omega}$ ;
- 4)  $10 + 20 \lg \omega - 20 \lg \sqrt{1+0,2\omega^2} + 20 \lg \sqrt{1+\omega^2}$ ;
- 5)  $20 + 20 \lg \omega - 20 \lg \sqrt{1+0,04\omega^2} - 20 \lg \sqrt{1+\omega^2}$ .

**3.3.21.** Какой график аппроксимированной ЛАЧХ соответствует звену с передаточной функцией

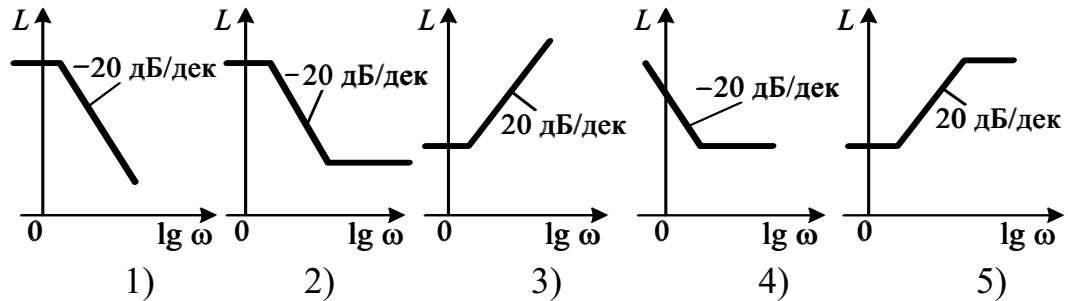
$$W(s) = \frac{kTs}{1+Ts}?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.22. Какой график аппроксимированной ЛАЧХ соответствует звену с передаточной функцией  $W(s) = \frac{k(T_1 s + 1)}{T_2 s + 1}$  при  $T_2 > T_1$ ?

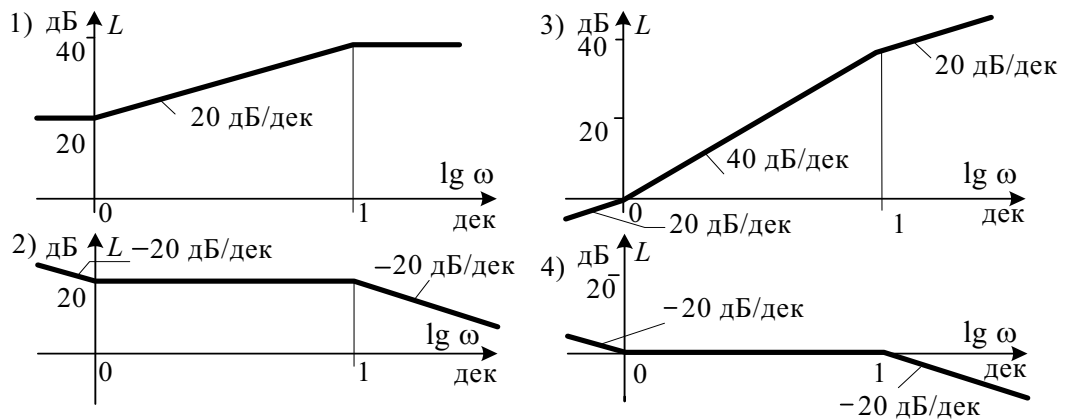
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.23. Определите график аппроксимированной ЛАЧХ, соответствующий передаточной функции

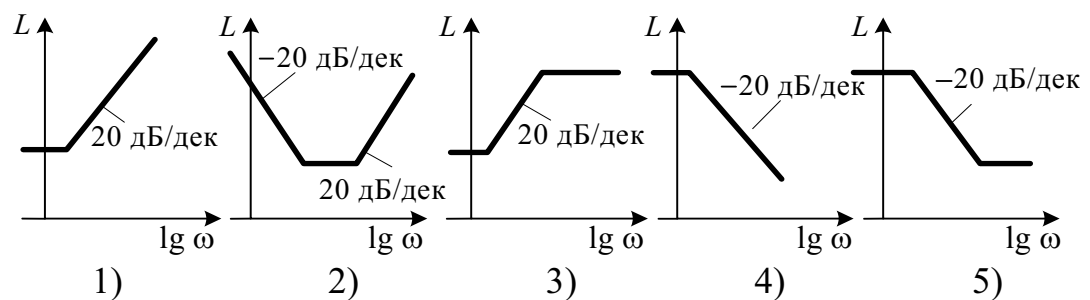
$$W(s) = \frac{10(1+s)}{s(1+0,1s)}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.24. Какой график аппроксимированной ЛАЧХ соответствует звену с передаточной функцией  $W(s) = \frac{k(T_1 s + 1)}{T_2 s - 1}$  при  $T_1 > T_2$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.25. Определите график аппроксимированной ЛАЧХ системы (см. рис. 3.19) в разомкнутом состоянии между  $z$  и  $x$ .

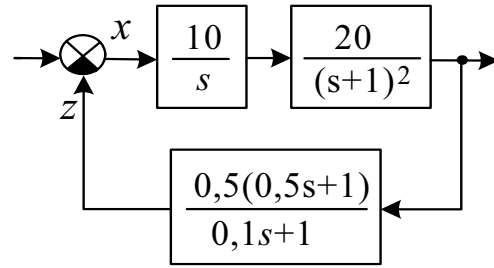
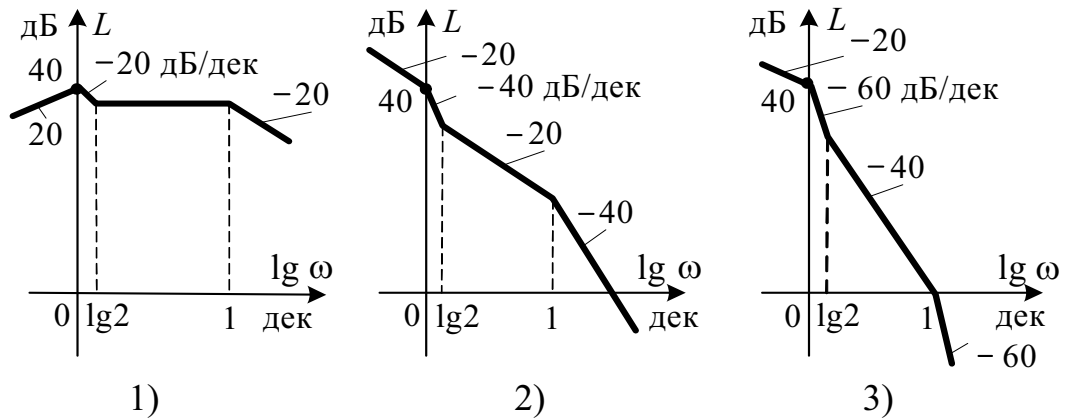


Рис. 3.19

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.26. Определите передаточную функцию минимально-фазовой системы, соответствующую аппроксимированной ЛАЧХ, приведенной на рис. 3.20.

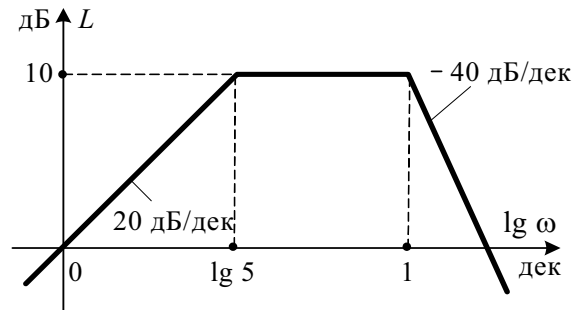


Рис. 3.20

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{s}{(1+0,2s)(1+0,1s)^2}$ ;

4)  $\frac{10}{s(1+5s)(1+10s)}$ ;

2)  $\frac{10s}{(1+5s)(1+10s)}$ ;

5)  $\frac{1}{s(1+0,2s)(1+0,1s)^2}$ .

3)  $\frac{s}{(1+0,2s)(1+0,1s)}$ ;

3.3.27. Определите передаточную функцию минимально-фазовой системы, соответствующую аппроксимированной ЛАЧХ, приведенной на рис. 3.21.

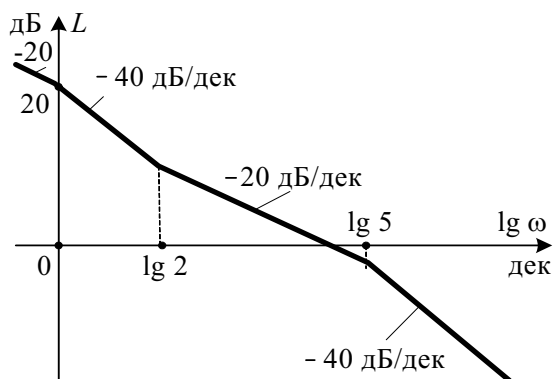


Рис. 3.21

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{20(1+2s)}{s(1+5s)(1+s)}$ ;

2)  $\frac{10(1+0,5s)}{s(1+0,2s)(1+s)}$ ;

3)  $\frac{20(1+0,5s)}{s(1+0,2s)(1+s)}$ ;

4)  $\frac{10(1+2s)}{s(1+5s)(1+s)}$ ;

5)  $\frac{100(1+s)(1+0,2s)}{s(1+0,5s)}$ .

3.3.28. Определите передаточную функцию минимально-фазовой системы, соответствующую приведенной на рис. 3.22 аппроксимированной ЛАЧХ.

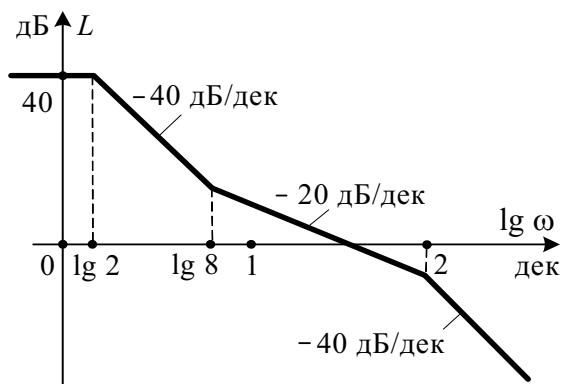


Рис. 3.22

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{40(1+0,125s)}{(1+0,5s)^2(1+0,01s)}$ ;

2)  $\frac{40(1+8s)}{(1+2s)^2(1+100s)}$ ;

3)  $\frac{100(1+0,125s)}{(1+0,5s)^2(1+0,01s)}$ ;

4)  $\frac{40(1+8s)}{(1+2s)^2(1+100s)}$ ;

5)  $\frac{100(1+8s)}{(1+2s)^2(1+100s)}$ .

**3.3.29.** Какой график логарифмической фазовой частотной характеристики соответствует минимально-фазовому звену с приведенной на рис. 3.23 аппроксимированной ЛАЧХ?

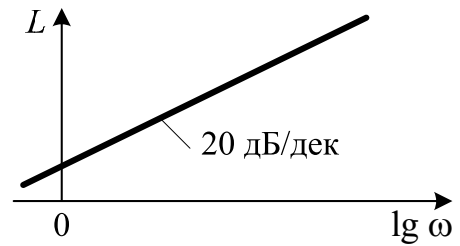
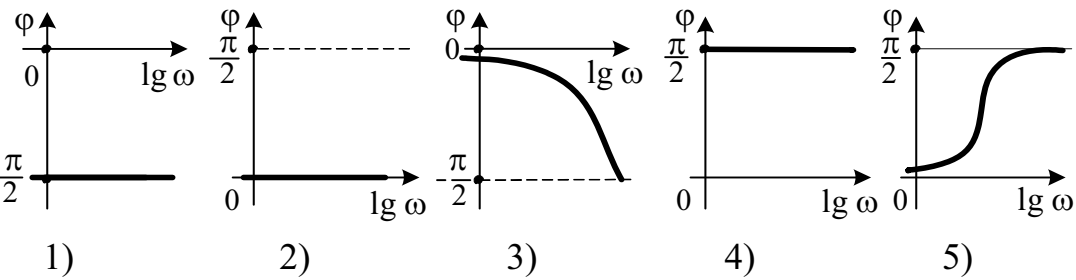


Рис. 3.23



**3.3.30.** Какой график логарифмической фазовой частотной характеристики соответствует минимально-фазовому звену с приведенной на рис. 3.24 аппроксимированной ЛАЧХ?

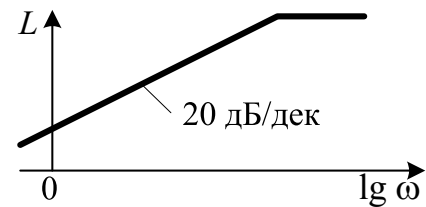
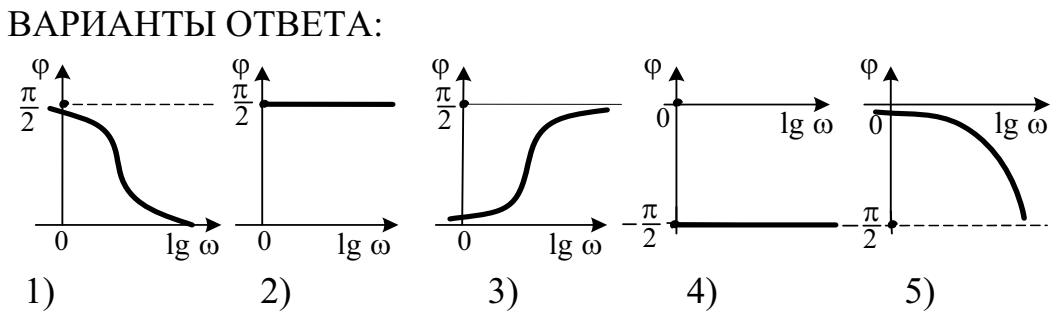


Рис. 3.24



**3.3.31.** Какой график логарифмической фазовой частотной характеристики соответствует минимально-фазовому звену с приведенной на рис. 3.25 аппроксимированной ЛАЧХ?

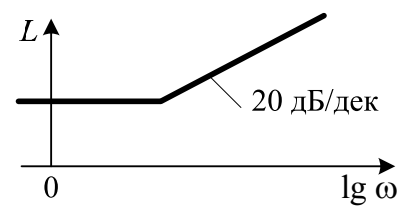
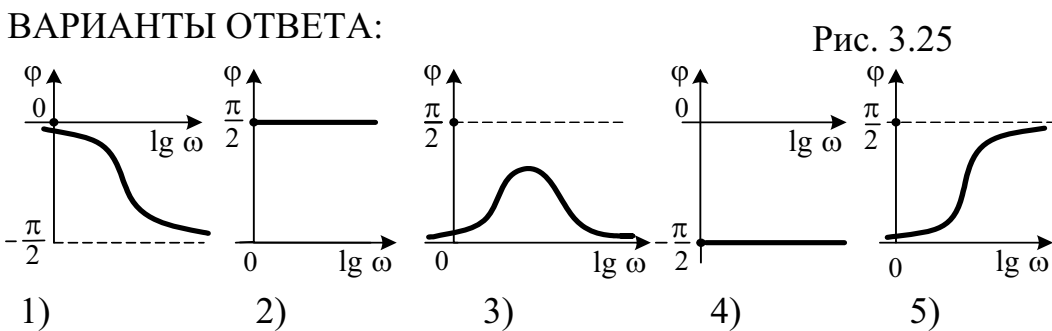


Рис. 3.25



3.3.32. Какой график логарифмической фазовой частотной характеристики соответствует минимально-фазовому звену с приведенной на рис. 3.26 аппроксимированной ЛАЧХ?

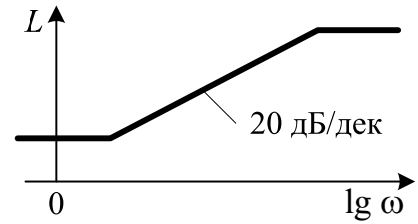
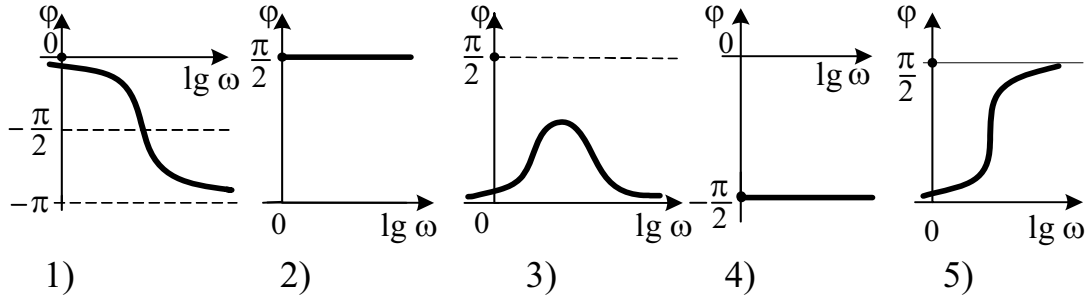


Рис. 3.26

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.33. Определите аналитическое выражение для фазовой частотной характеристики, соответствующее минимально-фазовой системе с ЛАЧХ  $L(\omega) = 40 + 20 \lg \omega - 20 \lg \sqrt{1 + 0,25\omega^2} - 40 \lg \sqrt{1 + 5\omega^2}$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $-\frac{\pi}{2} - \arctg 0,25\omega - \arctg 5\omega$ ;    3)  $\frac{\pi}{2} - \arctg 0,5\omega - \arctg \sqrt{5}\omega$ ;  
 2)  $\frac{\pi}{2} + \arctg 0,5\omega - \arctg \sqrt{5}\omega$ ;    4)  $\frac{\pi}{2} - \arctg 0,5\omega - 2 \arctg \sqrt{5}\omega$ .

3.3.34. Какой график логарифмической фазовой частотной характеристики соответствует минимально-фазовой системе с приведенной на рис. 3.27 аппроксимированной ЛАЧХ?

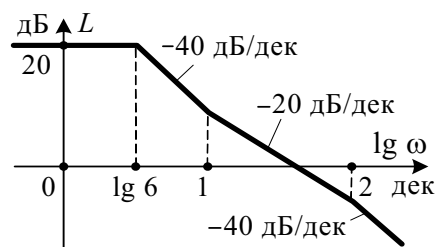
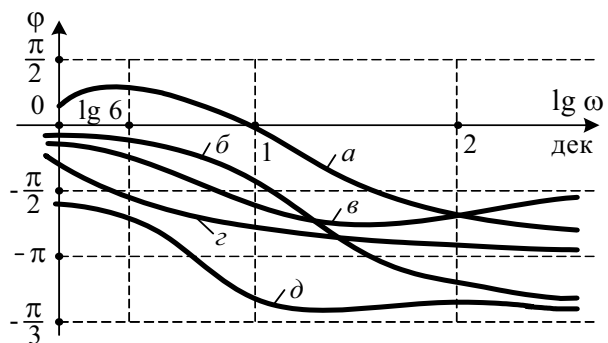


Рис. 3.27

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) а;  
 2) б;  
 3) в;  
 4) г;  
 5) д.



3.3.35. Какой амплитудно-фазовый годограф соответствует приведенной на рис. 3.28 ЛАЧХ минимально-фазовой системы?

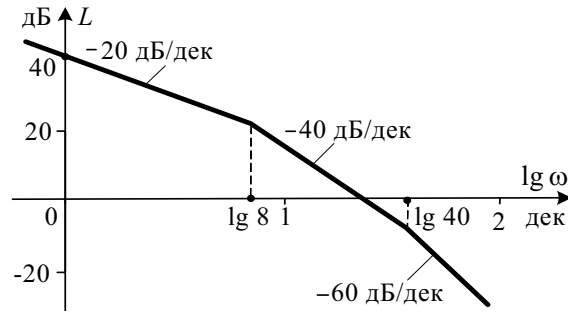
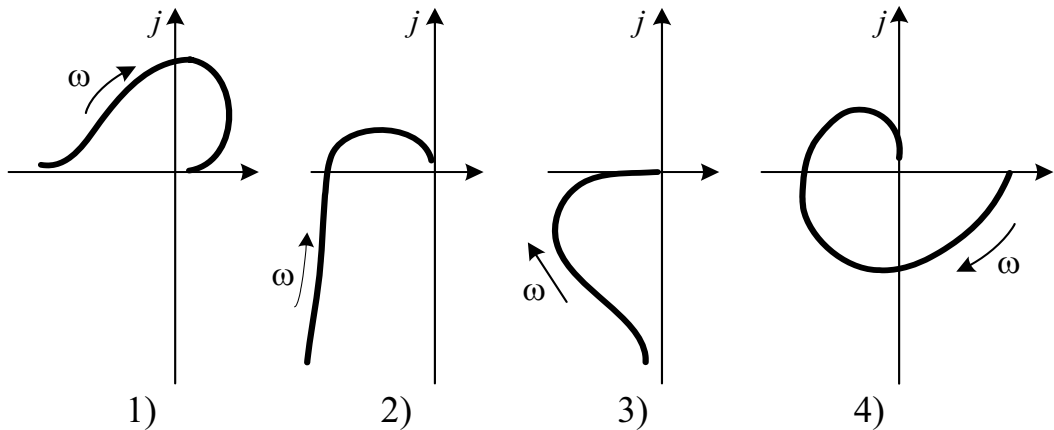


Рис. 3.28

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.36. Какой амплитудно-фазовый годограф соответствует приведенной на рис. 3.29 ЛАЧХ минимально-фазовой системы?

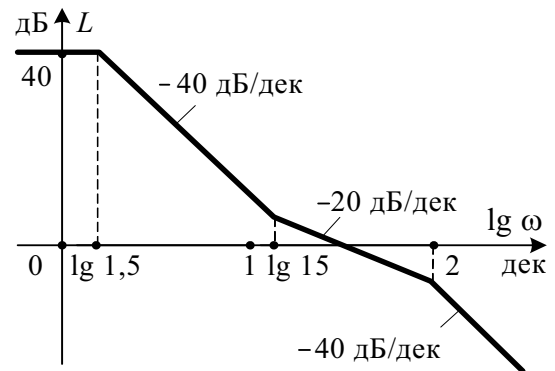
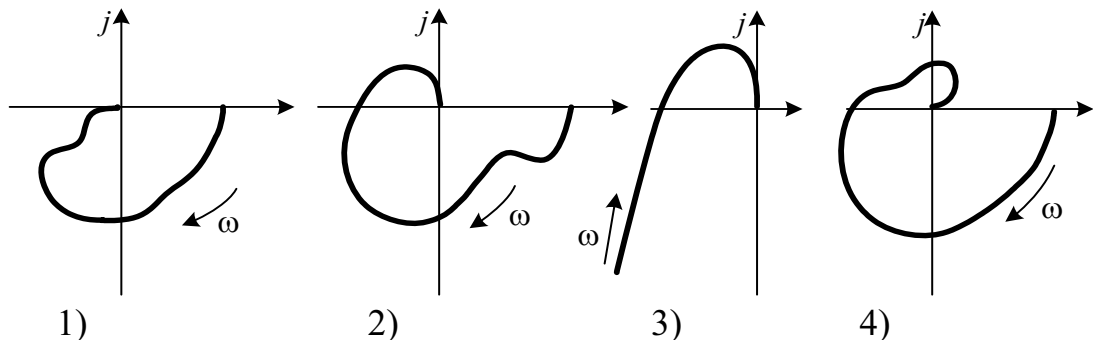


Рис. 3.29

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:





3.3.37. Каков график переходной функции  $h(t)$  звена с приведенной на рис. 3.30 ЛАЧХ?

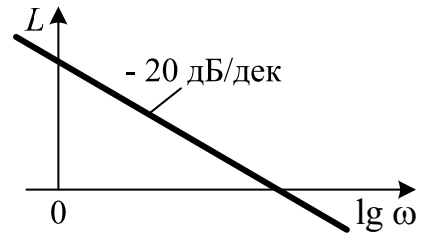
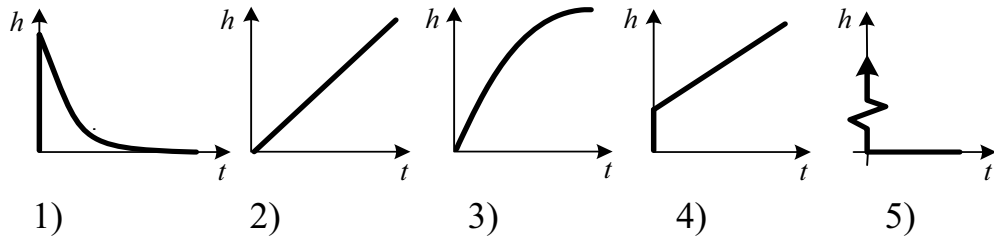


Рис. 3.30

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.38. Каков график переходной функции  $h(t)$  звена с приведенной на рис. 3.31 ЛАЧХ?

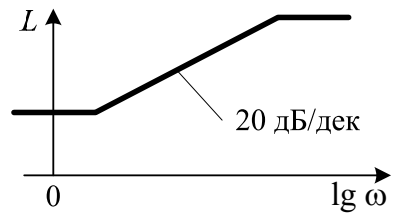
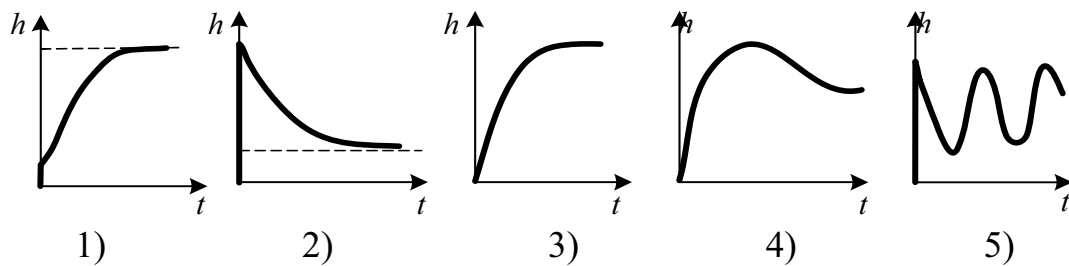


Рис. 3.31

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.3.39. Каков график весовой функции  $w(t)$  звена с приведенной на рис. 3.32 ЛАЧХ?

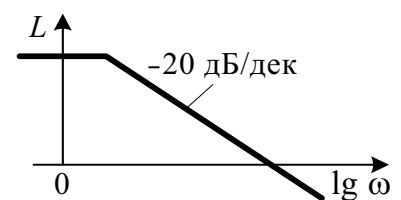
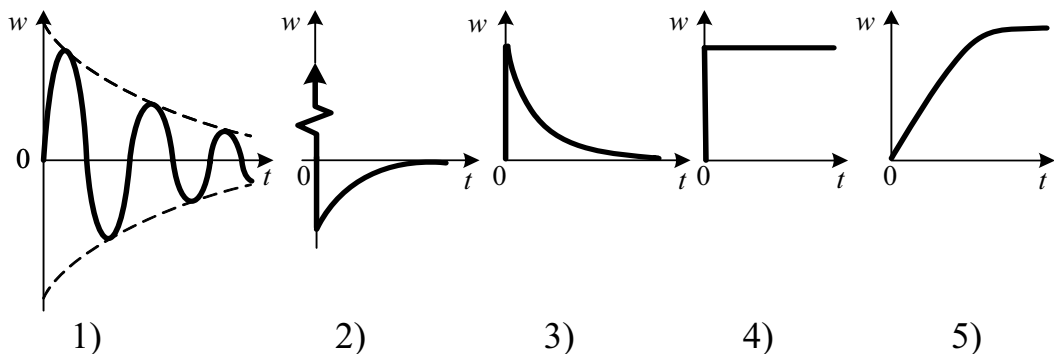


Рис. 3.32

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**3.3.40.** Каково аналитическое выражение для расширенной амплитудно-фазовой частотной характеристики системы с передаточной функцией  $W(s)$  и принимаемым показателем колебательности  $\mu$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $W(j\mu\omega)$ ; 2)  $W(\mu + j\omega)$ ; 3)  $W(\mu\omega + j\omega)$ ; 4)  $W(-\mu\omega + j\omega)$ .

**3.3.41.** Определите аналитическое выражение расширенной амплитудно-частотной характеристики, соответствующее передаточной функции

$$W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

и показателю колебательности  $\mu$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{k}{\sqrt{1 + \mu^2 \omega^2 T_1^2} \cdot \sqrt{1 + \mu^2 \omega^2 T_2^2}}$ ;
- 2)  $\frac{k}{\sqrt{(1 + \mu\omega T_1)^2 + \omega^2 T_1^2} \cdot \sqrt{(1 + \mu\omega T_1)^2 + \omega^2 T_2^2}}$ ;
- 3)  $\frac{k}{\sqrt{(1 - \mu\omega T_1)^2 + \omega^2 T_1^2} \cdot \sqrt{(1 - \mu\omega T_1)^2 + \omega^2 T_2^2}}$ .

**3.3.42.** Определите аналитическое выражение расширенной фазовой частотной характеристики, соответствующее передаточной функции

$$W(s) = \frac{k}{(T s + 1)^2}$$

и показателю колебательности  $\mu$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $-2 \operatorname{arctg} \mu\omega T$ ;
- 2)  $-2 \operatorname{arctg} \frac{\omega T}{1 - \mu\omega T}$ ;
- 3)  $2 \operatorname{arctg} \frac{1 - \mu\omega T}{\omega T}$ ;
- 4)  $-2 \operatorname{arctg} (\mu + \omega) T$ ;
- 5)  $-2 \operatorname{arctg} \frac{1 - \mu\omega T}{\omega T}$ .

### 3.4. Типовые динамические звенья линейных непрерывных систем и их характеристики

**3.4.1.** Каким уравнением описывается устойчивое инерционное звено первого порядка с выходом  $y(t)$  и входом  $x(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1) $y(t) = kx(t - \tau);$            | 4) $y(t) = k \left( T \frac{dx}{dt} + x(t) \right);$ |
| 2) $T \frac{dy}{dt} + y(t) = kx(t);$ | 5) $y(t) = kx(t).$                                   |
| 3) $\frac{dy}{dt} = kx(t);$          |  |

**3.4.2.** Каким уравнением описывается идеальное интегрирующее звено с входом  $x(t)$  и выходом  $y(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                      |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1) $y(t) = kx(t - \tau);$            | 4) $\int_0^t y(t) dt = kx(t);$ |
| 2) $T \frac{dy}{dt} + y(t) = kx(t);$ | 5) $\frac{dx}{dt} = y(t).$     |
| 3) $\frac{dy}{dt} = x(t);$           |                                |

**3.4.3.** Каким уравнением описывается вход-выходная связь  $f : x \rightarrow y$  у консервативного звена?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |  |
|---|--|
| 1) $T \frac{dy}{dt} + y(t) = kx(t);$                              | 4) $T^2 \frac{d^2y}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy}{dt} = kx(t),$ |
| 2) $T^2 \frac{d^2y}{dt^2} + y(t) = kx(t);$                        | где $\xi < 0.$   |
| 3) $T^2 \frac{d^2y}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy}{dt} + y(t) = kx(t);$ |  |

**3.4.4.** Каким уравнением описывается идеальное дифференцирующее звено, имеющее вход  $x$  и выход  $y$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{d^2 y}{dt^2} = x(t);$

4)  $T \frac{dy}{dt} + y(t) = k \frac{dx}{dt};$

2)  $T \frac{dy}{dt} + y(t) = k x(t);$

5)  $\frac{dx}{dt} = y(t).$

3)  $\frac{dy}{dt} = x(t);$

**3.4.5.** Какой передаточной функцией описывается форсирующее звено первого порядка?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{k s}{T s + 1};$

4)  $k s;$

2)  $\frac{k(T_1 s + 1)}{T_2 s + 1};$

5)  $T_1 T_2 s^2 + T_2 s + 1.$

3)  $k(T_1 s + 1);$

**3.4.6.** Какому типовому звену соответствует передаточная функция

$$W(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}, \text{ если } \xi > 1?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) устойчивому колебательному;

4) инерционному;

2) форсирующему 2-го порядка;

5) мало данных.

3) устойчивому апериодическому 2-го порядка;

**3.4.7.** Какова передаточная функция  $W_{\text{ПИД}}(s)$  пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $W_{\text{ПИД}}(s) = k_{\text{П}} + k_{\text{Д}} s;$

3)  $W_{\text{ПИД}}(s) = k_{\text{П}} + \frac{k_{\text{И}}}{s};$

2)  $W_{\text{ПИД}}(s) = \frac{k_{\text{П}} s + k_{\text{И}}}{s};$

4)  $W_{\text{ПИД}}(s) = \frac{k_{\text{И}} + k_{\text{П}} s + k_{\text{Д}} s^2}{s}.$

**3.4.8.** Какое типовое динамическое звено соответствует  $RL$ -четырёхполюснику с приведенной на рис. 3.33 схемой?

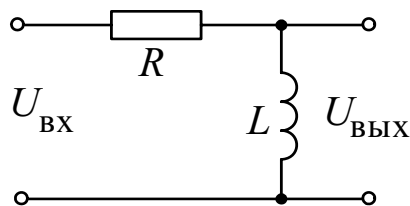


Рис. 3.33

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) масштабное;
- 2) колебательное;
- 3) идеальное интегрирующее;
- 4) упругое дифференцирующее;
- 5) реальное дифференцирующее.

**3.4.9.** Какому типовому динамическому звену эквивалентен резервуар, наполняемый жидкостью (рис. 3.34), если за его вход принять давление  $x$  подаваемой жидкости, а за выход – её уровень  $y$  в баке?

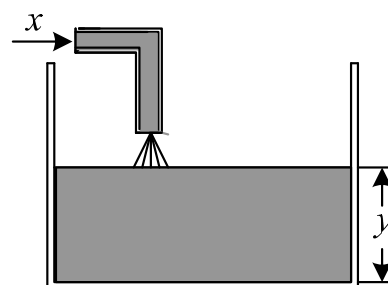


Рис. 3.34

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) апериодическому;
- 2) идеальному интегрирующему;
- 3) идеальному дифференцирующему;
- 4) колебательному.

**3.4.10.** Какому типовому динамическому звену эквивалентен тахогенератор постоянного тока (рис. 3.35), если за его вход принять угол поворота  $\alpha$  его вала, а за выход – напряжение  $U$ ?

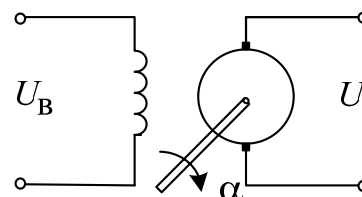


Рис. 3.35

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) апериодическому;
- 2) идеальному дифференцирующему;
- 3) реальному дифференцирующему;
- 4) идеальному интегрирующему;
- 5) масштабному.

**3.4.11.** Какому типовому динамическому звену эквивалентен движущийся с постоянной скоростью  $V$  ленточный транспортер (рис. 3.36), если за его вход принять расход  $x$  сыпучего материала из бункера Б1, а за выход – объем  $y$  поступающего материала в бункер Б2?

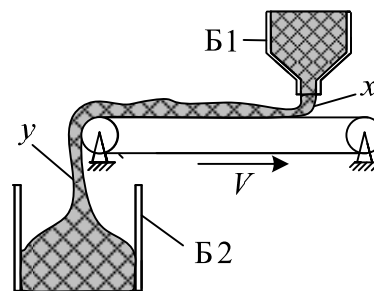


Рис. 3.36

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) апериодическому;
- 2) идеальному интегрирующему;
- 3) идеальному дифференцирующему;
- 4) звену чистого запаздывания;
- 5) масштабному.

**3.4.12.** Каким аналитическим выражением описывается весовая функция устойчивого звена с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k}{1 + Ts} ?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $w(t) = k \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right);$
- 2)  $w(t) = k \delta(t) e^{-\frac{t}{T}};$
- 3)  $w(t) = \frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}};$
- 4)  $w(t) = -\frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}};$
- 5)  $w(t) = kT e^{-\frac{t}{T}}.$

**3.4.13.** Каким аналитическим выражением описывается переходная функция идеального интегрирующего звена?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $h(t) = t;$
- 2)  $h(t) = kt e^{-\frac{t}{T}};$
- 3)  $h(t) = k \cdot 1(t);$
- 4)  $h(t) = k \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right);$
- 5)  $h(t) = k.$

3.4.14. Каково аналитическое выражение переходной функции для приведенного на рис. 3.37 соединения звеньев?

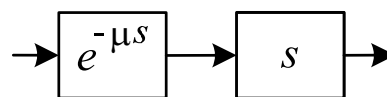


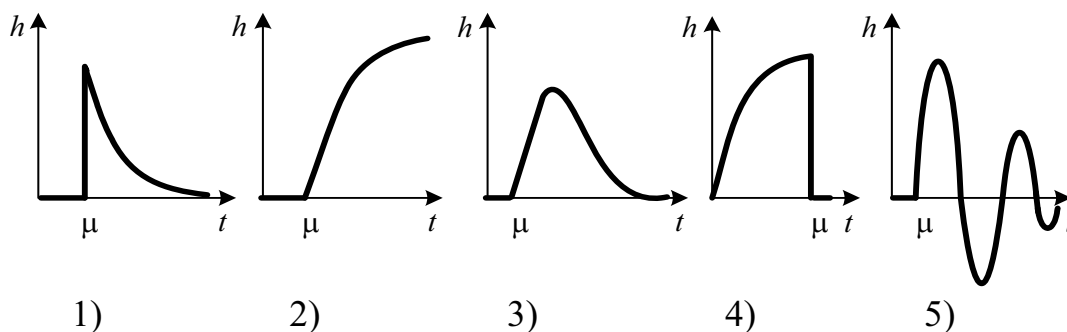
Рис. 3.37

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $1(t - \mu)$ ;                      3)  $1(t + \mu)$ ;                      5)  $\delta(t - \mu)$ .  
 2)  $e^{-\mu t}$ ;                          4)  $\delta(t + \mu)$ ;

3.4.15. Каков вид графика переходной функции последовательного соединения устойчивого апериодического звена первого порядка и звена чистого запаздывания с временем запаздывания  $\mu$ ?

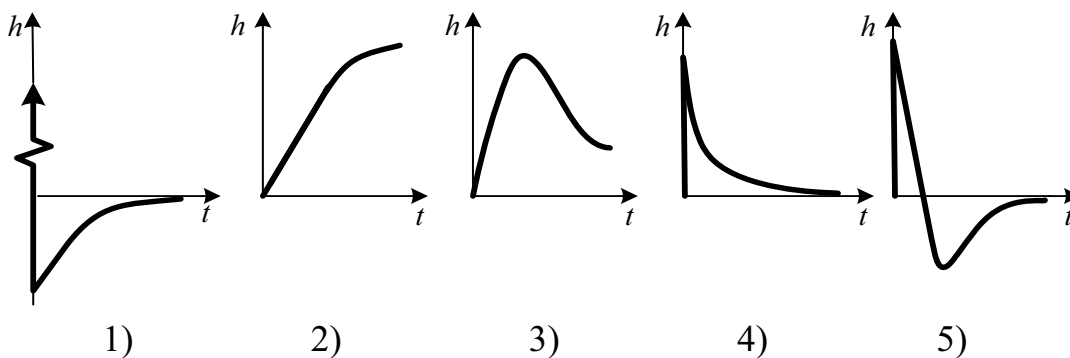
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.16. Каков вид графика переходной функции у звена с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{T s}{T s + 1} ?$$

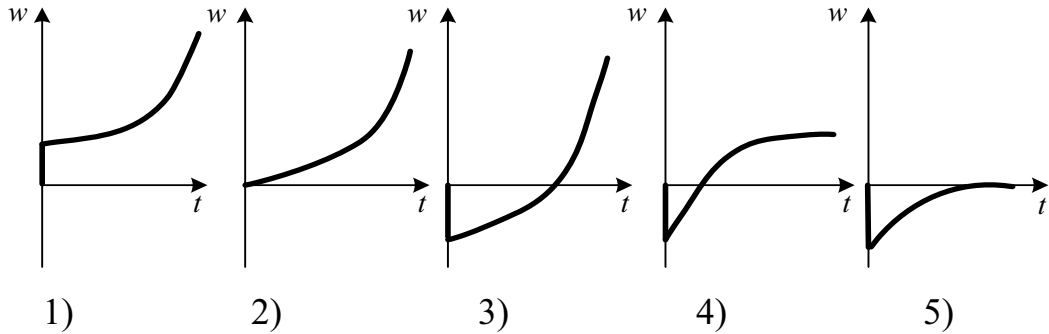
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.17. Каков вид графика весовой функции у звена с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k}{Ts - 1} ?$$

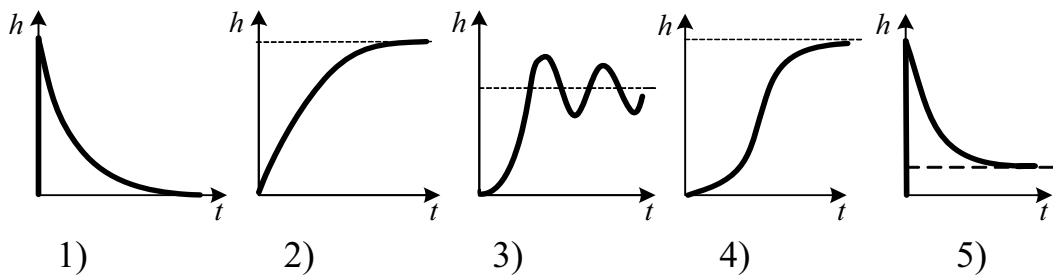
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.18. Какой график переходной функции соответствует звену, описываемому дифференциальным уравнением

$$T_1 \frac{dx_{\text{ВЫХ}}}{dt} + x_{\text{ВЫХ}} = k \left( T_2 \frac{dx_{\text{ВХ}}}{dt} + x_{\text{ВХ}} \right), \text{ если } T_2 > T_1 ?$$

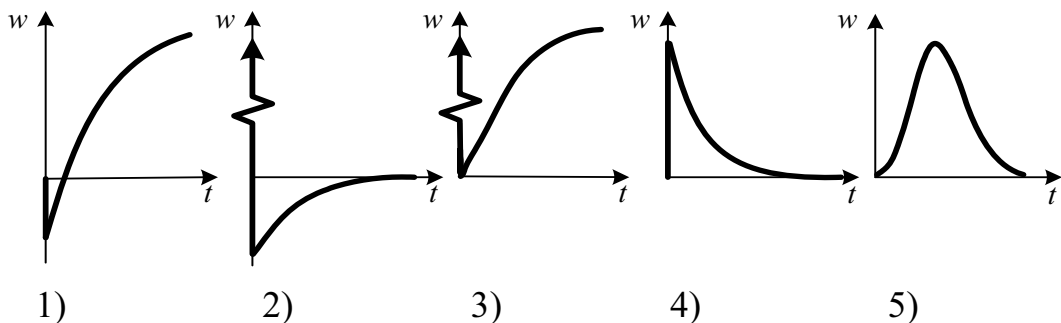
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.19. Какой график весовой функции соответствует звену, описываемому дифференциальным уравнением

$$T \frac{dy}{dt} + y = kT \frac{dx}{dt} ?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

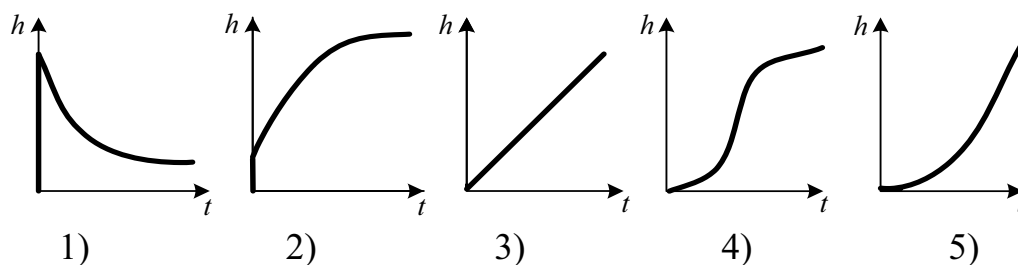




3.4.20. Определите вид графика переходной функции системы с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k}{s(Ts + 1)}.$$

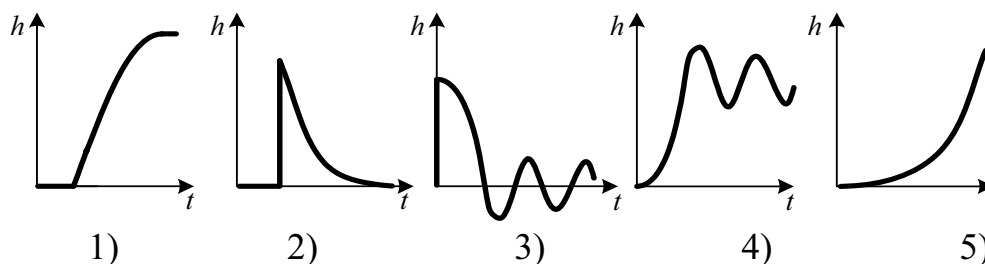
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.21. Определите вид графика переходной функции системы с передаточной функцией

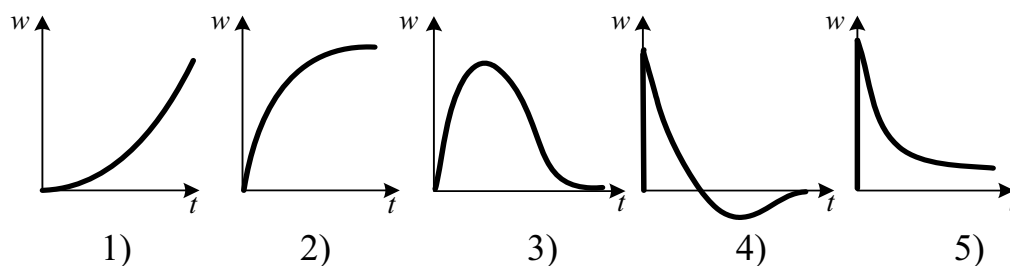
$$W(s) = \frac{e^{-\mu s}}{Ts + 1}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



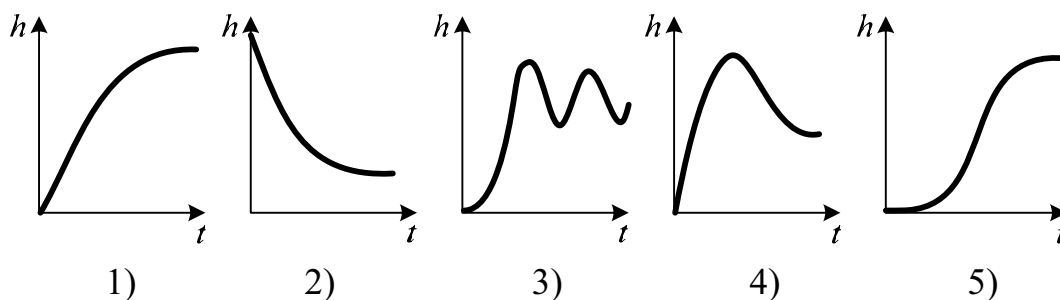
3.4.22. Определите вид графика весовой функции системы, состоящей из параллельного соединения интегрирующего и устойчивого апериодического звена первого порядка.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



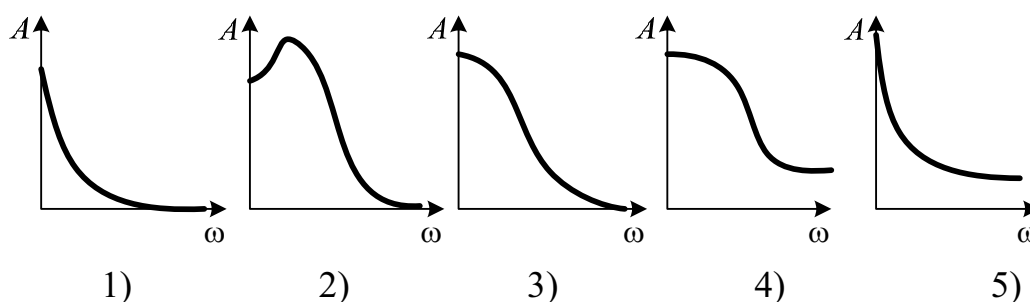
**3.4.23.** Определите вид графика переходной функции системы, состоящей из двух последовательно соединенных устойчивых аperiodических звеньев первого порядка.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**3.4.24.** Каков вид графика амплитудно-частотной характеристики устойчивого аperiodического звена первого порядка?

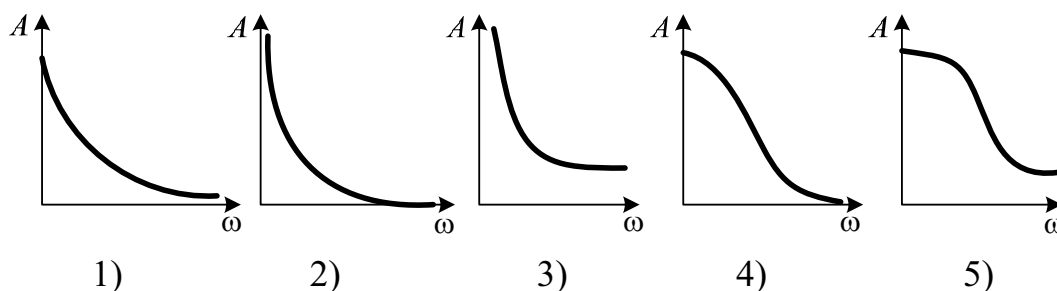
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**3.4.25.** Каков вид графика амплитудно-частотной характеристики звена с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k(T_1 s + 1)}{T_2 s + 1}, \text{ где } T_2 > T_1?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.26. Определите установившееся значение переходной функции для системы, схема которой приведена на рис. 3.38.

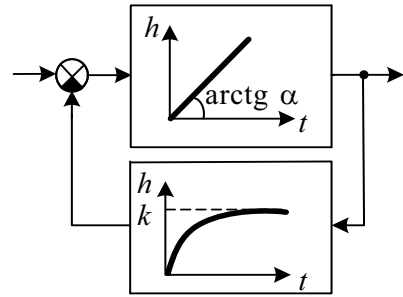


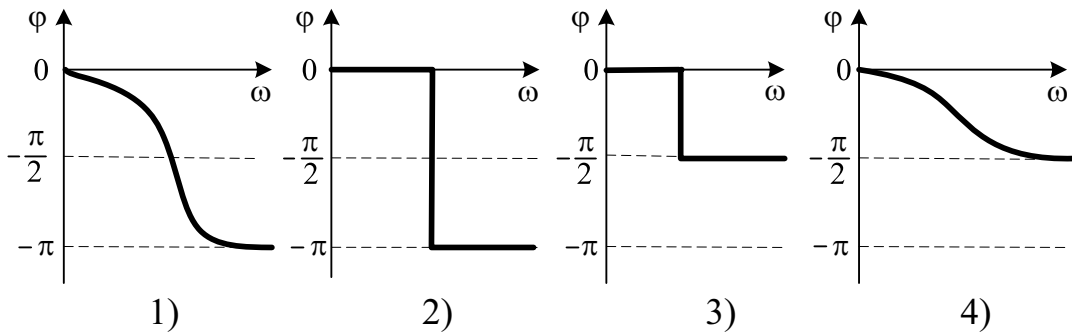
Рис. 3.38

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\alpha k$ ;    2)  $\infty$ ;    3) 0;    4)  $1/k$ ;    5) мало данных.

3.4.27. Определите вид графика фазовой частотной характеристики консервативного звена.

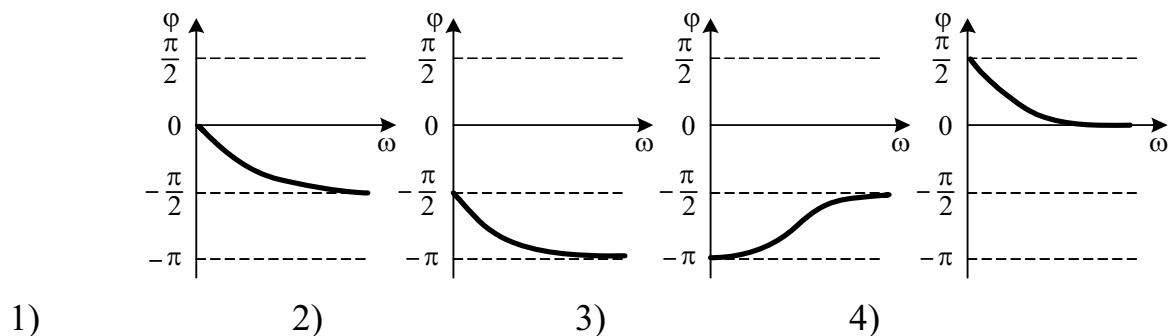
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.28. Определите вид графика фазовой частотной характеристики неустойчивого звена с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k}{Ts - 1}$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.29. Определите предельное значение фазовой частотной характеристики при  $\omega \rightarrow \infty$  у соединения звеньев с приведенными на рис. 3.39 переходными функциями.

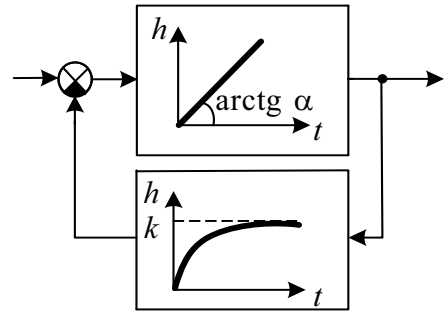


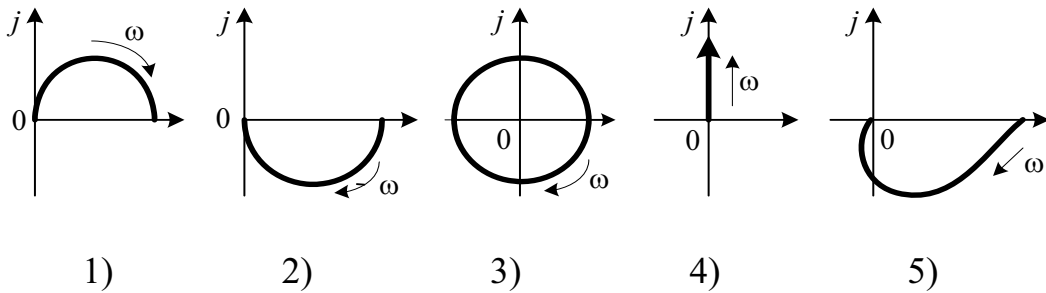
Рис. 3.39

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2)  $-\frac{3}{2} \pi$ ;      3)  $-\frac{1}{2} \pi$ ;      4)  $\frac{1}{2} \pi$ ;      5)  $-\pi$ .

3.4.30. Какой амплитудно-фазовый годограф соответствует устойчивому инерционному звену первого порядка?

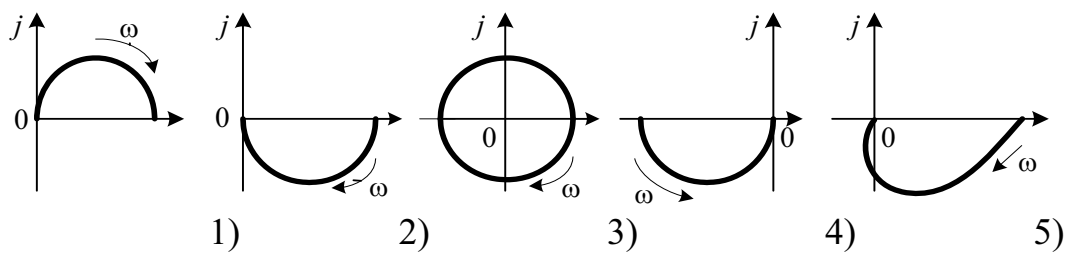
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.31. Какой амплитудно-фазовый годограф соответствует звену с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k}{Ts - 1} ?$$

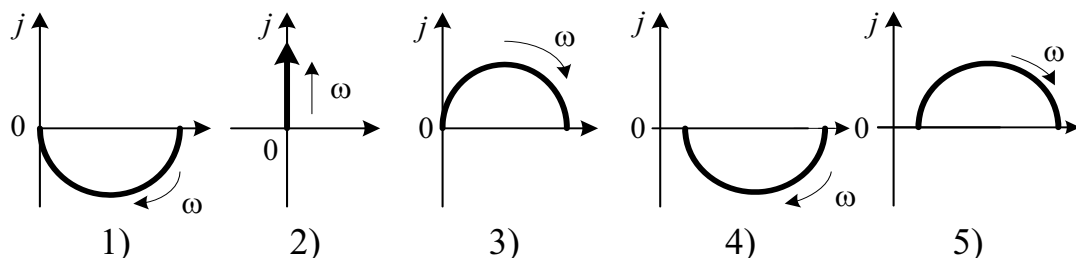
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.32. Какой амплитудно-фазовый годограф соответствует звену с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{kTs}{Ts + 1} ?$$

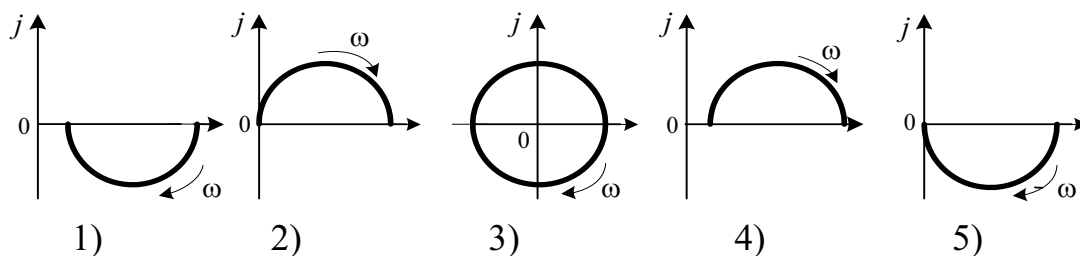
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.33. Какой амплитудно-фазовый годограф соответствует звену с передаточной функцией

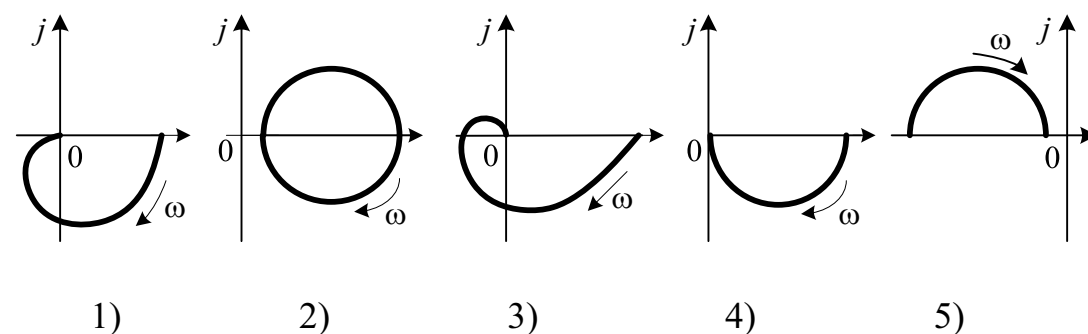
$$W(s) = \frac{k(T_1 s + 1)}{T_2 s + 1}, \text{ где } T_1 > T_2 ?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.34. Какой амплитудно-фазовый годограф соответствует устойчивому колебательному звену второго порядка?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**3.4.35.** Какой амплитудно-фазовый годограф имеет соединение звеньев с отрицательной обратной связью и приведенными на рис. 3.40 переходными функциями.

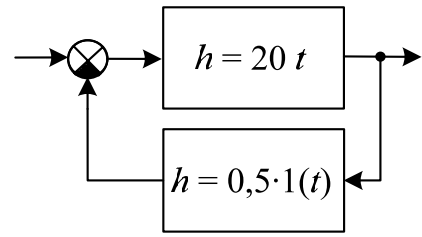
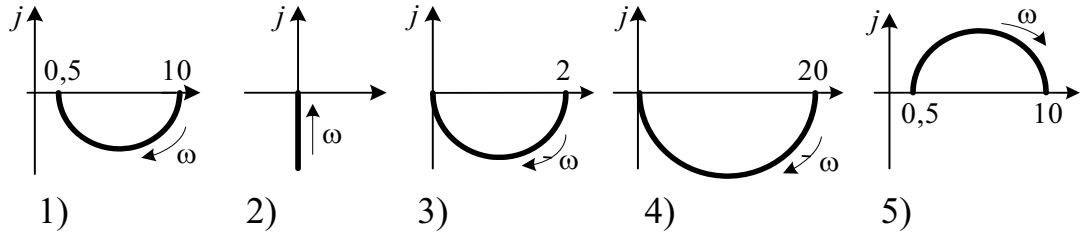


Рис. 3.40

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**3.4.36.** Какой амплитудно-фазовый годограф имеет соединение звеньев с отрицательной обратной связью и приведенными на рис. 3.41 переходными функциями?

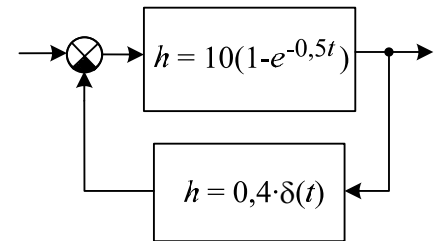
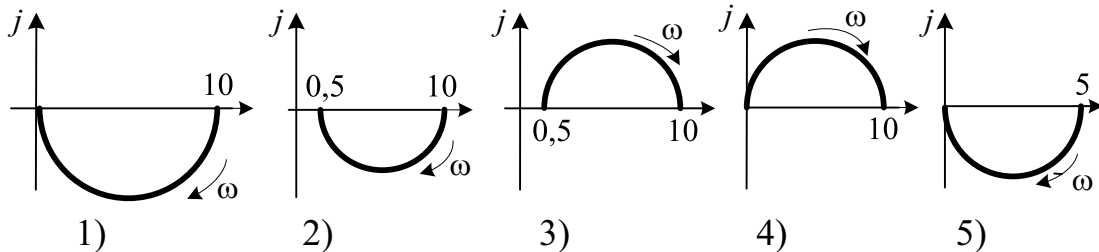


Рис. 3.41

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**3.4.37.** Какой амплитудно-фазовый годограф имеет соединение звеньев с отрицательной обратной связью и приведенными на рис. 3.42 весовыми функциями?

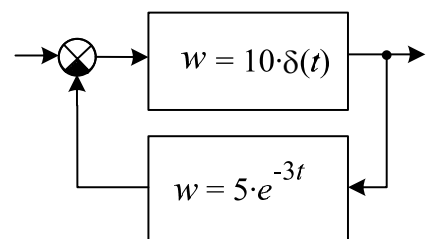
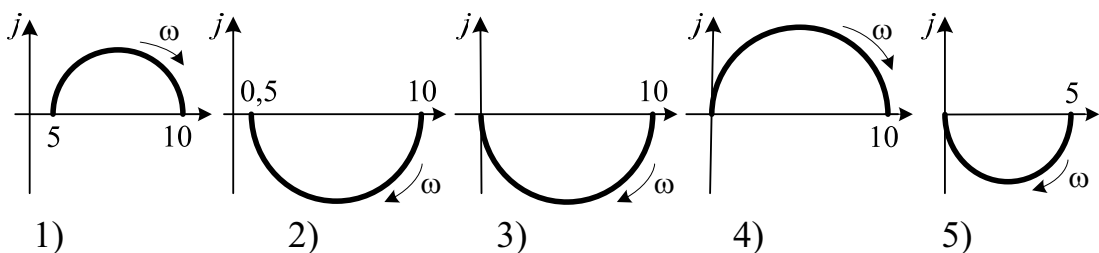
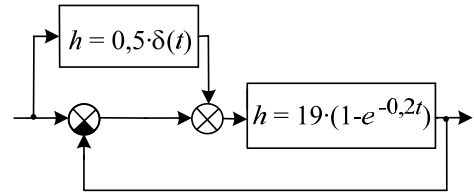


Рис. 3.42

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

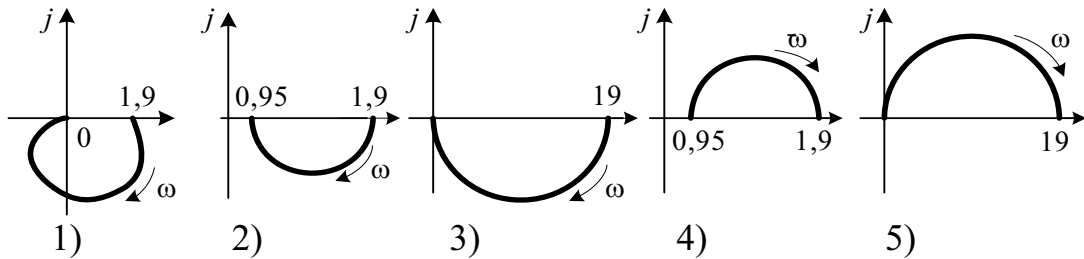


**3.4.38.** Какой амплитудно-фазовый годограф имеет соединение звеньев с отрицательной обратной связью и приведенными на рис. 3.43 переходными функциями?



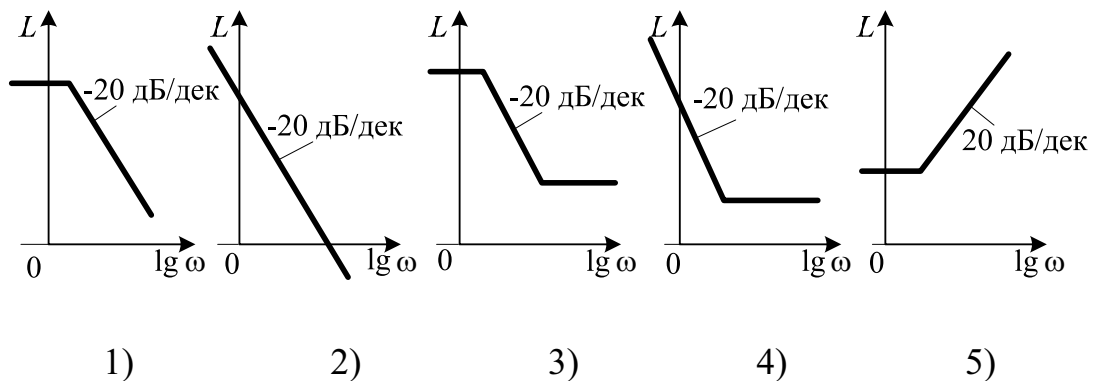
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

Рис. 3.43



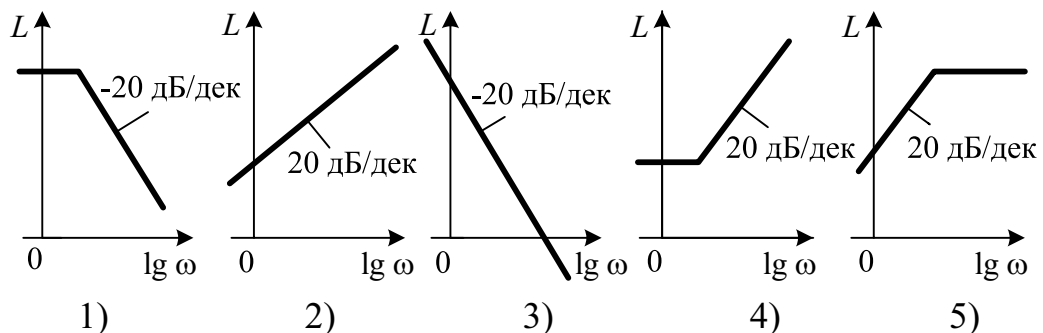
**3.4.39.** Какой график ЛАЧХ соответствует интегрирующему звену?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



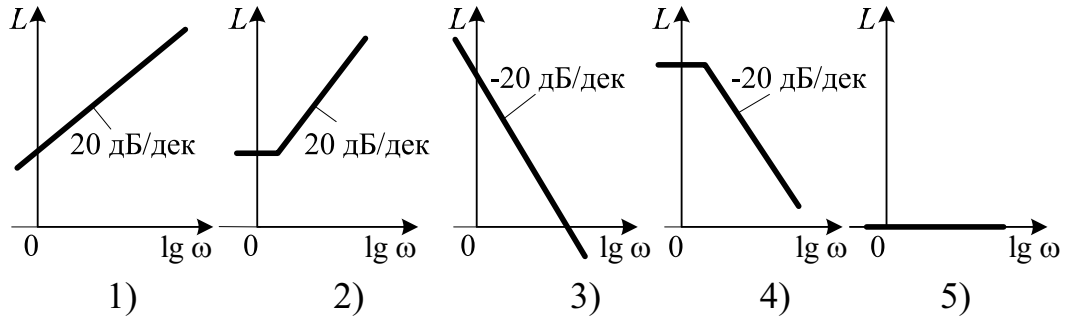
**3.4.40.** Какой график аппроксимированной ЛАЧХ соответствует форсирующему звену с передаточной функцией  $W(s) = k(Ts + 1)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



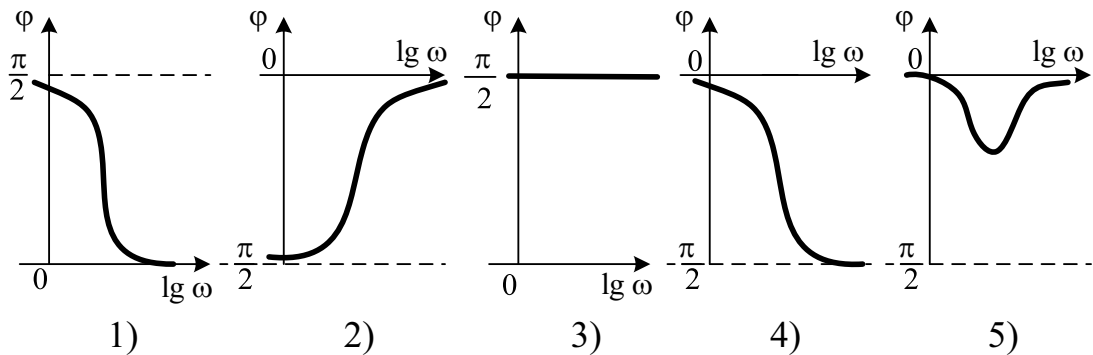
3.4.41. Какой график аппроксимированной ЛАЧХ соответствует звену чистого запаздывания?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.42. Какой график логарифмической фазовой частотной характеристики соответствует устойчивому инерционному звену первого порядка?

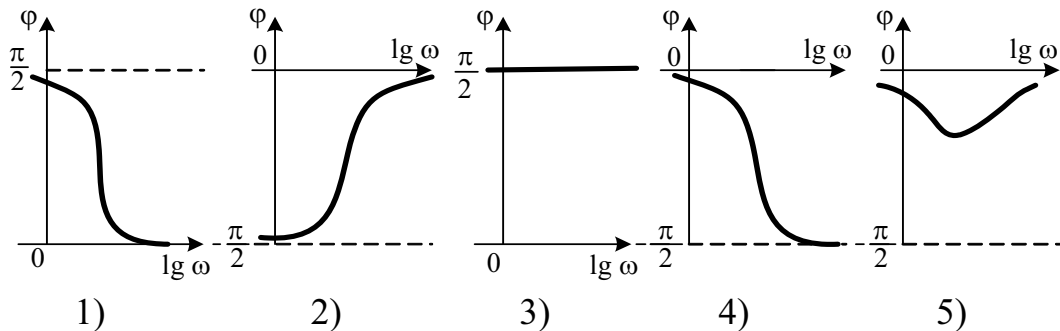
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



3.4.43. Какой график логарифмической фазовой частотной характеристики соответствует звену с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{10(0,5s + 1)}{3s + 1} ?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:





## ГЛАВА 4

### ОПЕРАТОРНО-СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ И ГРАФЫ ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 4.1. Составление операторно-структурных схем

**4.1.1.** Что понимается под операторно-структурной схемой системы автоматического управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) графическое отображение математической модели;
- 2) графическое отображение математической модели, записанной в операторной форме;
- 3) графическое отображение структуры системы;
- 4) графическое отображение математической модели структуры системы.

**4.1.2.** Чем характеризуются звенья в операторно-структурных схемах линейных стационарных обыкновенных систем?

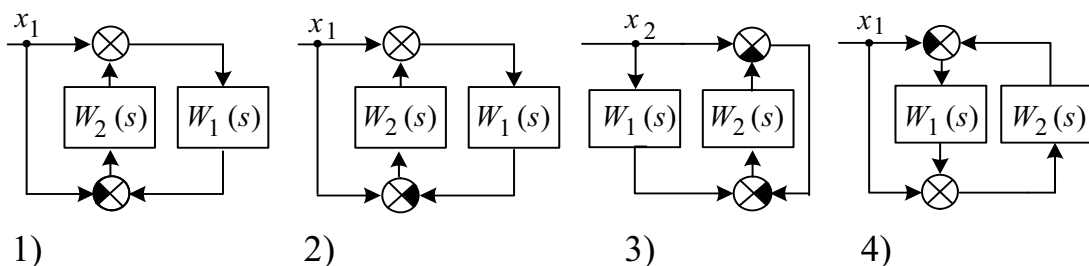
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) переходными функциями;
- 2) импульсными переходными функциями;
- 3) передаточными функциями;
- 4) передаточными матрицами.

**4.1.3.** Составьте операторно-структурную схему системы, описываемой уравнениями:

$$\begin{aligned} x_2(s) &= x_1(s) + W_2(s)x_4(s); & x_3(s) &= W_1(s)x_2(s); \\ x_4(s) &= x_1(s) - x_3(s). \end{aligned}$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

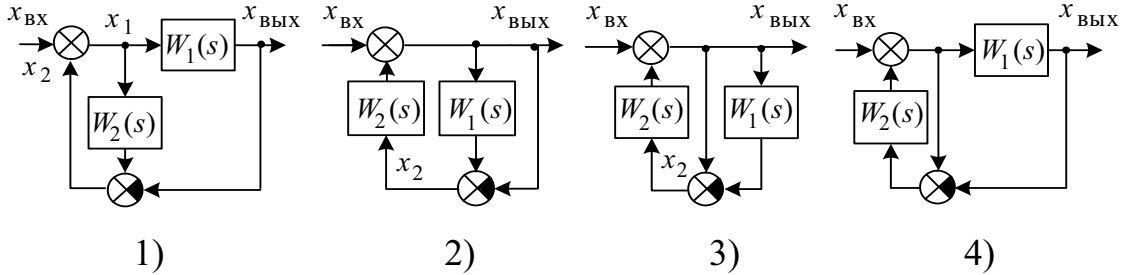


4.1.4. Составьте операторно-структурную схему системы, описываемой уравнениями:

$$x_1(s) = x_{\text{ВХ}}(s) + W_2(s)x_2(s); \quad x_{\text{ВЫХ}}(s) = W_1(s)x_1(s);$$

$$x_2(s) = x_1(s) - x_{\text{ВЫХ}}(s).$$

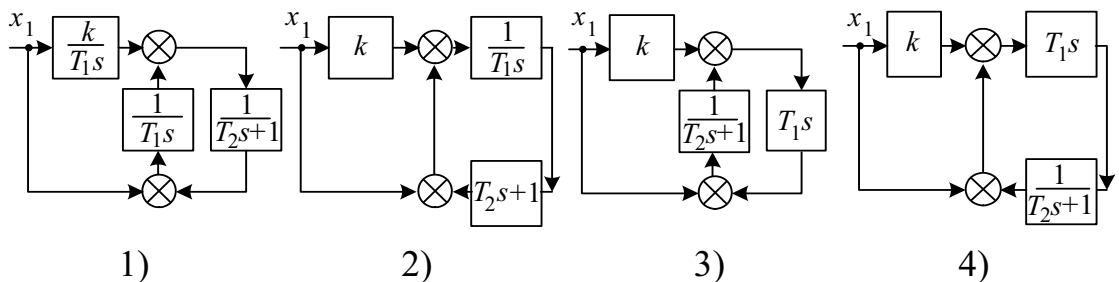
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



4.1.5. Составьте операторно-структурную схему системы, описываемой уравнениями:

$$T_1 \frac{dx_3}{dt} = kx_1 + x_2; \quad x_2 = x_1 + x_4; \quad T_2 \frac{dx_4}{dt} + x_4 = x_3.$$

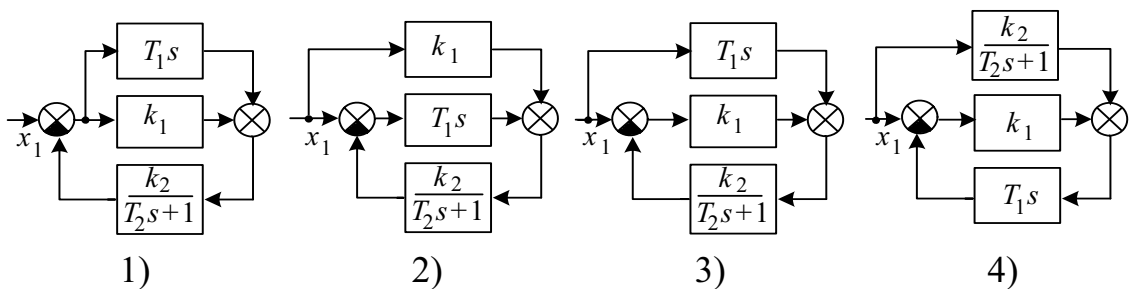
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



4.1.6. Составьте операторно-структурную схему системы, описываемой уравнениями:

$$x_3 = x_2 + T_1 \frac{dx_1}{dt}; \quad x_2 = k_1 x_1 - k_1 x_4; \quad T_2 \frac{dx_4}{dt} + x_4 = k_2 x_3.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

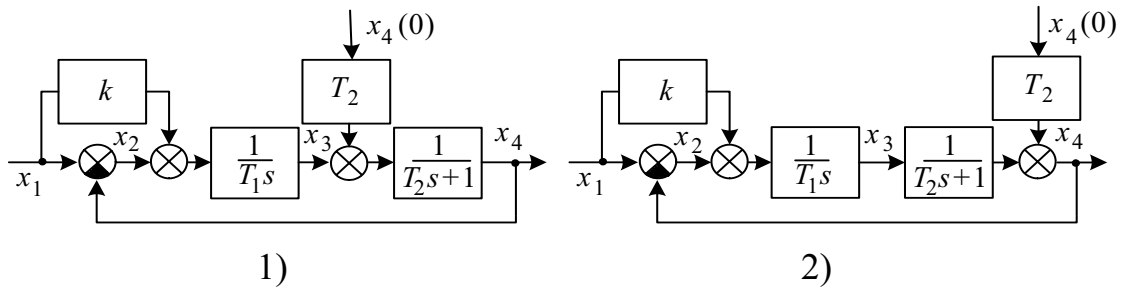


4.1.7. Составьте операторно-структурную схему системы, описываемой уравнениями:

$$T_1 \frac{dx_3}{dt} = kx_1 + x_2, \quad x_2 = x_1 - x_4, \quad T_2 \frac{dx_4}{dt} + x_4 = x_3,$$

с учетом начальных условий  $x_1(0) = x_2(0) = x_3(0) = 0, \quad x_4(0) \neq 0$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

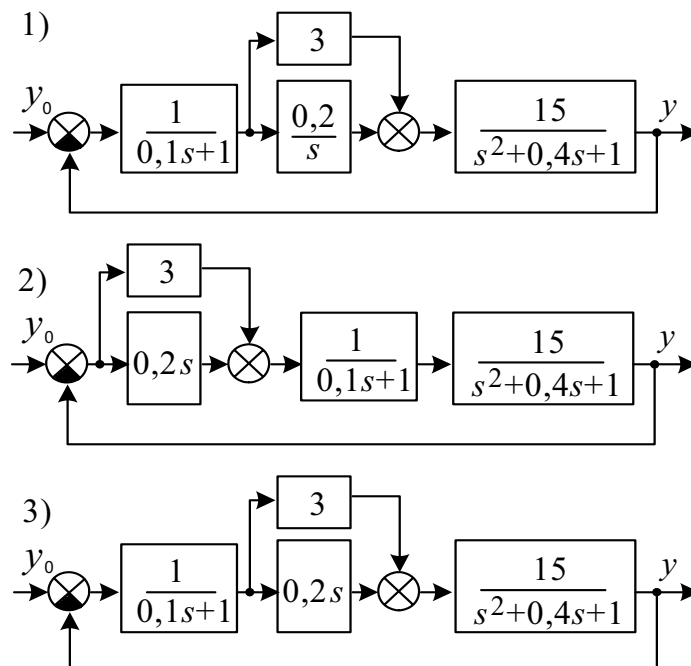


4.1.8. Постройте операторно-структурную схему системы, процессы в которой описываются уравнениями:

$$0,1 \frac{d\sigma}{dt} + \sigma(t) = \delta(t); \quad z(t) = 0,2 \int_0^t \sigma(t) \cdot dt + 3\sigma(t);$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 0,4 \frac{dy}{dt} + y(t) = 15z(t); \quad \delta(t) = y_0(t) - y(t).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



## 4.2. Преобразование операторно-структурных схем

4.2.1. Определите передаточную функцию  $W_{xg}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 4.1.

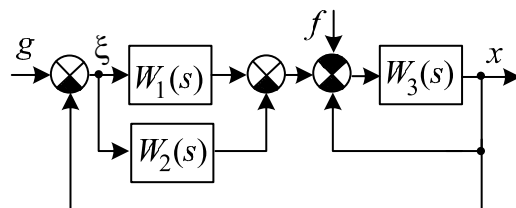


Рис. 4.1

$$1) \frac{[W_1(s) + W_2(s)][W_3(s) + 1]}{1 + W_3(s)[W_1(s) + W_2(s) + 1]};$$

$$2) \frac{[W_1(s) + W_2(s)]W_3(s)}{1 + W_3(s)[W_1(s) + W_2(s) + 1]};$$

$$3) \frac{[W_1(s) + W_2(s)]W_3(s)}{1 + W_3(s)[W_1(s) + W_2(s)]};$$

$$4) \frac{W_1(s)W_2(s)}{[1 + W_3(s)][1 + W_1(s)W_2(s)] + W_1(s)W_3(s)};$$

$$5) \frac{W_3(s)}{1 + W_3(s)[W_1(s) + W_2(s)]}.$$

4.2.2. Определите передаточную функцию  $W_{xf}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 4.2.

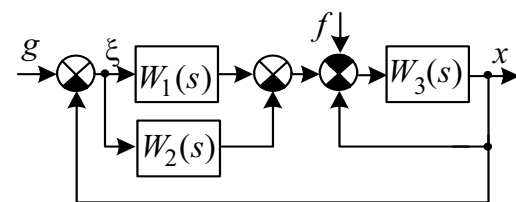


Рис. 4.2

$$1) \frac{W_3(s)}{[W_1(s) - W_2(s)][W_3(s) + 1]};$$

$$2) \frac{-W_1(s)W_2(s)}{[1 + W_3(s)][W_1(s) - W_2(s)]};$$

$$3) \frac{-W_3(s)}{1 + W_3(s)[1 - W_1(s) - W_2(s)]};$$

$$4) \frac{W_1(s) - W_2(s)}{W_3(s)[W_1(s) - W_2(s)] + 1};$$

$$5) \frac{-W_3(s)}{[1 + W_3(s)][1 + W_1(s)W_2(s)]}.$$

**4.2.3.** Определите передаточную функцию  $W_{yx}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 4.3.

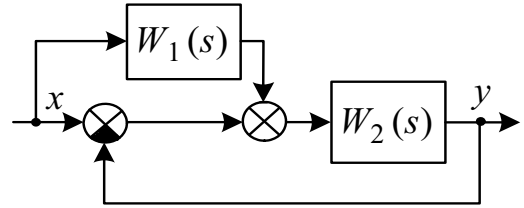


Рис. 4.3

1)  $\frac{W_2(s)[1 - W_1(s)]}{[1 + W_2(s)]}$ ;

2)  $\frac{W_2(s)[1 + W_1(s)]}{1 + W_1(s)W_2(s)}$ ;

3)  $\frac{1 + W_1(s)}{1 + W_2(s)}$ ;

4)  $\frac{W_2(s)[1 + W_1(s)]}{1 + W_1(s)}$ ;

5)  $\frac{W_2(s)[1 + W_1(s)]}{1 + W_2(s)}$ .

**4.2.4.** Определите передаточную функцию  $W_{yx}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 4.4.

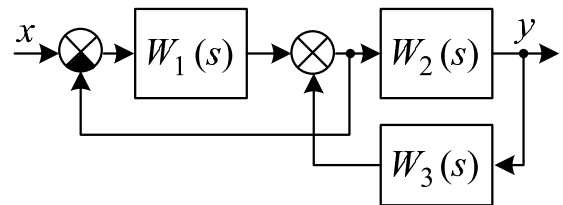


Рис. 4.4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{W_1(s)W_2(s)}{1 + W_1(s) - W_2(s)W_3(s)}$ ;

2)  $\frac{W_1(s)}{1 + W_1(s) - W_2(s)W_3(s)}$ ;

3)  $\frac{W_2(s)}{1 + W_1(s) + W_2(s)W_3(s)}$ ;

4)  $\frac{W_1(s)W_2(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)W_3(s)}$ ;

5)  $\frac{W_1(s)W_2(s)}{1 + W_1(s) + W_2(s)W_3(s)}$ .

4.2.5. Определите передаточную функцию  $W_{\xi g}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 4.5.

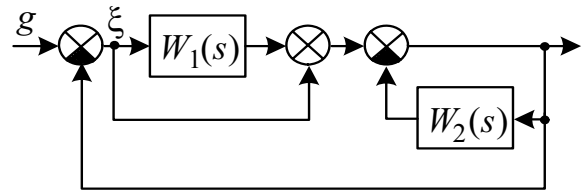


Рис. 4.5

1)  $\frac{1+W_2(s)}{W_1(s)+W_2(s)+2}$ ;

4)  $\frac{1+W_2(s)}{W_1(s)+W_2(s)+1}$ ;

2)  $\frac{1+W_1(s)}{W_1(s)+W_2(s)+1}$ ;

5)  $\frac{W_1(s)}{W_1(s)W_2(s)+W_2(s)+1}$ .

3)  $\frac{W_1(s)+W_2(s)}{W_1(s)+W_2(s)+1}$ ;

4.2.6. Определите передаточную функцию  $W_{\xi x}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 4.6.

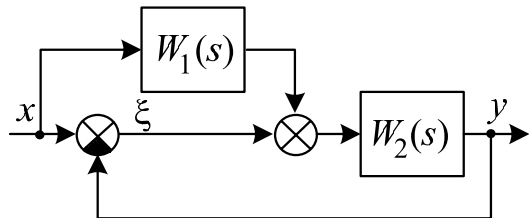


Рис. 4.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{1}{1+W_2(s)}$ ;

4)  $\frac{1+W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;

2)  $\frac{1+W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;

5)  $\frac{1-W_1(s)W_2(s)}{1+W_2(s)}$ .

3)  $\frac{1+W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;

4.2.7. Определите передаточную функцию  $W_{\xi f}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 4.7.

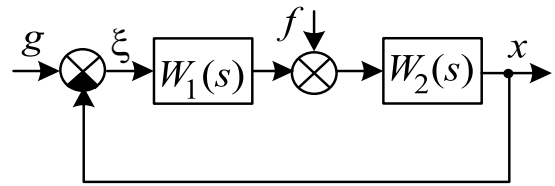


Рис. 4.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $-\frac{W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;

2)  $\frac{W_1(s)W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;

3)  $-\frac{W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;

4)  $\frac{1}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;

5)  $\frac{W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ .

4.2.8. Определите передаточную функцию  $W_{\xi f}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 4.8.

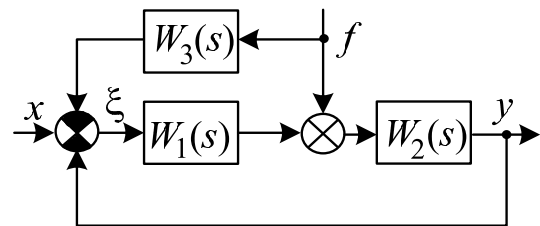


Рис. 4.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{W_2(s)W_3(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;

2)  $\frac{W_2(s)+W_3(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;

3)  $-\frac{W_1(s)W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)+W_1(s)W_3(s)}$ ;

4)  $\frac{1+W_1(s)W_2(s)}{1-W_2(s)W_3(s)}$ ;

5)  $\frac{[W_1(s) \cdot W_3(s) - 1]W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ .

**4.2.9.** Определите передаточную функцию  $W_{yx}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 4.9.

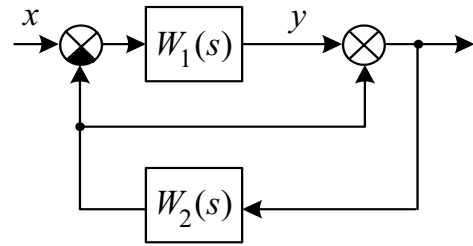


Рис. 4.9

1)  $\frac{W_1(s)[1+W_2(s)]}{1+W_2(s)+W_1(s)W_2(s)}$ ;

2)  $\frac{W_1(s)[1-W_2(s)]}{1-W_2(s)-W_1(s)W_2(s)}$ ;

3)  $\frac{W_1(s)[1-W_2(s)]}{1+W_2(s)-W_1(s)W_2(s)}$ ;

4)  $\frac{W_1(s)[1-W_2(s)]}{1-W_1(s)+W_1(s)W_2(s)}$ ;

5)  $\frac{W_1(s)[1-W_2(s)]}{1-W_2(s)+W_1(s)W_2(s)}$ .

**4.2.10.** По приведенной на рис. 4.10 операторно-структурной схеме двигателя постоянного тока определите передаточную функцию между скоростью вращения двигателя  $\omega$  и его моментом нагрузки  $M_H$ .

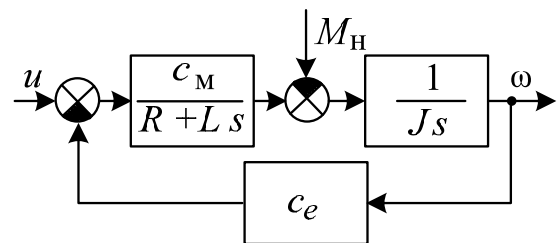


Рис. 4.10

1)  $-\frac{Js(R+Ls)}{c_e c_M + Js(R+Ls)}$ ;

2)  $\frac{R+Ls}{c_e c_M - Js(R+Ls)}$ ;

3)  $\frac{1}{Js [c_e c_M + Js(R+Ls)]}$ ;

4)  $-\frac{R+Ls}{c_e c_M + Js(R+Ls)}$ ;

5)  $-\frac{Js}{c_e c_M + Js(R+Ls)}$ .



**4.2.11.** Определите передаточную функцию  $W_{yx}(s)$  системы, операторно-структурная схема которой приведена на рис. 4.11.

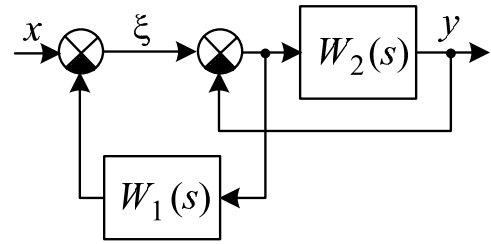


Рис. 4.11

- ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:
- 1)  $\frac{W_1(s)}{1+W_1(s)+W_2(s)}$ ;
  - 2)  $\frac{1+W_2(s)}{1+W_1(s)+W_2(s)}$ ;
  - 3)  $\frac{W_2(s)}{1+W_1(s)+W_2(s)}$ ;

- 4)  $\frac{W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ ;
- 5)  $\frac{1+W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)}$ .

**4.2.12.** Определите лапласово изображение сигнала  $y(t)$  в приведенной на рис. 4.12 системе при условии, что  $x(t) = 2t + 3 \cdot 1(t)$ .

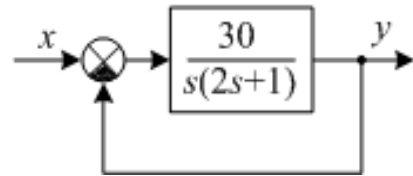


Рис. 4.12

- ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:
- 1)  $\left(\frac{2}{s^2} + \frac{3}{s}\right) \cdot \frac{30}{s(2s+1) - 30}$ ;
  - 2)  $\left(\frac{2}{s} + 3\right) \cdot \frac{30}{s(2s+1) + 30}$ ;
  - 3)  $(2 + 3s) \cdot \frac{30}{s(2s+1) + 30}$ ;

- 4)  $\left(\frac{2}{s^2} + \frac{3}{s}\right) \cdot \frac{30}{s(2s+1) + 30}$ ;
- 5)  $\left(\frac{2}{s} + 3\right) \cdot \frac{30}{s(2s+1) - 30}$ .

**4.2.13.** Определите лапласово изображение сигнала  $\xi(t)$  в приведенной на рис. 4.13 системе при  $x(t) = t^2$ .

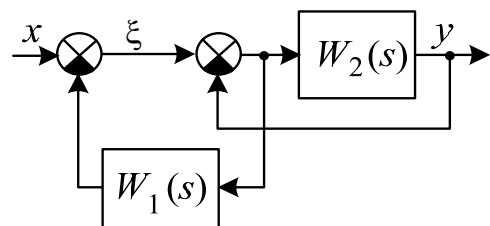


Рис. 4.13

- ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:
- 1)  $\frac{W_2(s)}{1+W_2(s)} \cdot \frac{1}{s^2}$ ;
  - 2)  $\frac{1+W_2(s)}{1+W_1(s)+W_2(s)} \cdot \frac{1}{s^3}$ ;

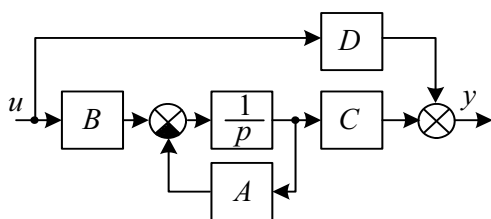
- 3)  $\frac{W_2(s)}{1+W_1(s)+W_2(s)} \cdot \frac{1}{s^3}$ ;
- 4)  $\frac{W_2(s)}{1+W_1(s)+W_2(s)} \cdot \frac{1}{s^2}$ .

### 4.3. Векторно-матричные схемы и графы линейных непрерывных систем

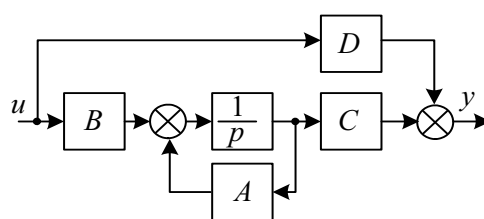
4.3.1. Постройте векторно-матричную схему многомерной по входу и выходу системы, описываемой моделью в форме «вход-состояние-выход» в виде

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t).$$

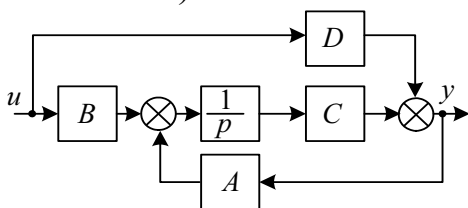
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



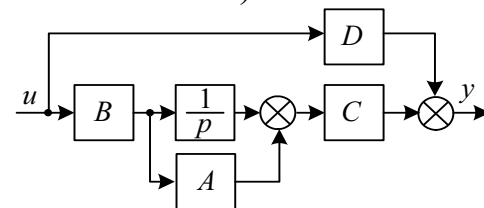
1)



3)



2)

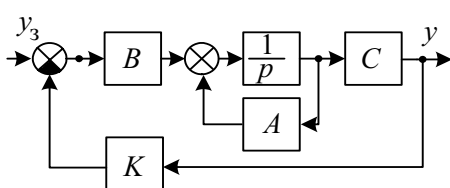


4)

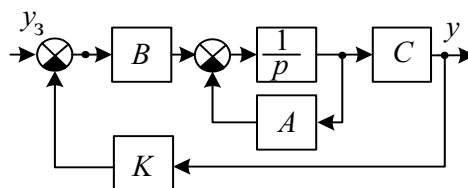
4.3.2. Постройте векторно-матричную схему многомерной по входу и выходу системы, описываемой моделью в форме «вход-состояние-выход» в виде

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t); \quad u(t) = y_3(t) - Ky(t).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



1)

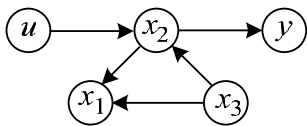


2)

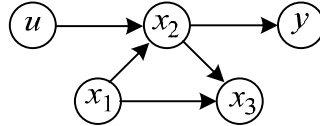
4.3.3. Постройте диграф системы, процессы в которой описываются моделью в форме «вход-состояние-выход»

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} u, \quad y = [0 \quad 1 \quad 0] x.$$

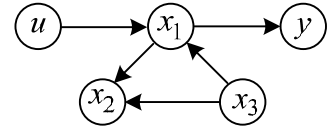
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



1)



2)



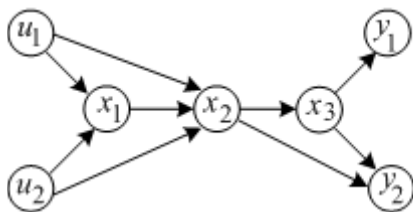
3)

4.3.4. Постройте диграф системы, процессы в которой описываются моделью в форме «вход-состояние-выход»

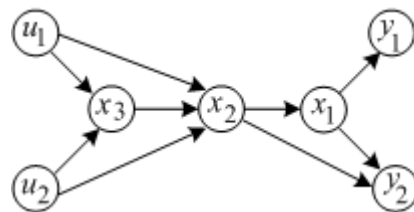
$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -7 \\ 0 & 0 & -2,3 \end{bmatrix} \cdot x(t) + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0,4 & 3 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \cdot u(t),$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2 & -0,3 & 0 \end{bmatrix} \cdot x(t).$$

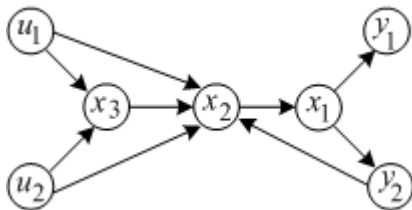
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



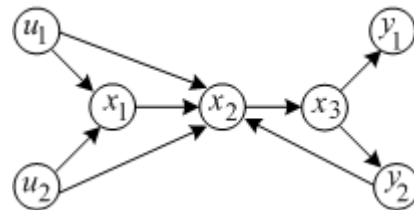
1)



3)



2)



4)

4.3.5. По приведенному на рис. 4.14 диграфу системы определите скелетные  $(0,1)$ -матрицы  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$  её математической модели  $\dot{x} = Ax + Bu$ ,  $y = Cx$ , записанной в форме «вход-состояние-выход».

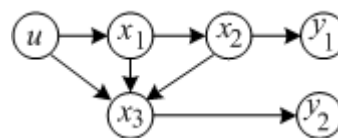


Рис. 4.14

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{aligned}
 1) \quad \bar{A} &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & \bar{B} &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, & \bar{C} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}; \\
 2) \quad \bar{A} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & \bar{B} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, & \bar{C} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 3) \quad \bar{A} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, & \bar{B} &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, & \bar{C} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

4.3.6. По приведенному на рис. 4.15 диграфу системы определите скелетную  $(0,1)$ -матрицу  $\bar{A}$  её математической модели  $\dot{x} = Ax + Bu$ ,  $y = Cx$ , записанной в форме «вход-состояние-выход».

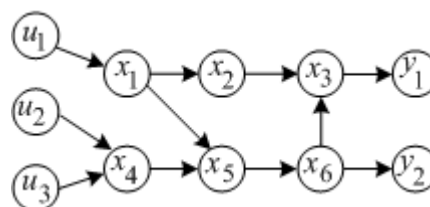


Рис. 4.15

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{aligned}
 \bar{A} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; & \bar{A} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \\
 1) & & 2) &
 \end{aligned}$$

4.3.7. Чему соответствуют вершины сигнального графа, отображающего математическую модель системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) сумматорам операторно-структурных схем;
- 2) передаточным функциям звеньев системы;
- 3) входным, выходным и внутренним переменным системы;
- 4) узлам операторно-структурных схем;
- 5) мало данных.

4.3.8. Чему соответствуют дуги сигнального графа, отображающего математическую модель системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) сумматорам операторно-структурных схем;
- 2) передаточным функциям звеньев системы;
- 3) входным, выходным и внутренним переменным системы;
- 4) узлам операторно-структурных схем;
- 5) мало данных.

4.3.9. По приведенному на рис. 4.16 графу системы определите её передаточную функцию  $W(s)$ , приняв

$$W_1(s) = \frac{5}{s}; \quad W_2(s) = \frac{10}{s+1}; \quad W_3(s) = -1.$$

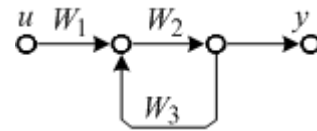


Рис. 4.16

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $W(s) = \frac{50s}{s+11};$

4)  $W(s) = \frac{50}{s(s+9)};$

2)  $W(s) = \frac{50}{s+11};$

5)  $W(s) = \frac{50}{s(s+11)}.$

3)  $W(s) = \frac{50}{s(s+1)};$

4.3.10. По приведенному на рис. 4.17 графу системы определите её передаточную функцию  $W(s) = \frac{y(s)}{u(s)}$ .

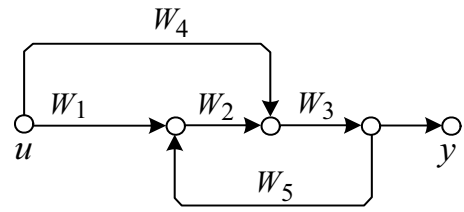


Рис. 4.17

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W(s) = \frac{W_3(s)[W_4(s) + W_1(s)W_2(s)]}{1 - W_2(s)W_3(s)W_5(s)}$ ;
- 2)  $W(s) = \frac{W_2(s)W_3(s)[W_4(s) + W_1(s)W_2(s)]}{1 - W_3(s)W_5(s)}$ ;
- 3)  $W(s) = \frac{W_3(s)[W_4(s) + W_1(s)W_2(s)]}{1 + W_2(s)W_3(s)W_5(s)}$ ;
- 4)  $W(s) = \frac{W_2(s)W_3(s)[W_4(s) + W_1(s)W_2(s)]}{1 + W_3(s)W_5(s)}$ .

4.3.11. По заданной операторно-структурной схеме системы (рис. 4.18) постройте её сигнальный граф.

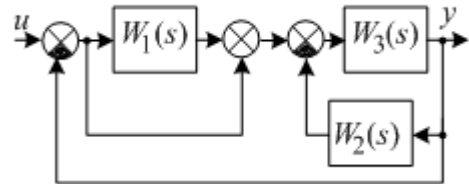


Рис. 4.18

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 
- 1)
  - 2)
  - 3)
  - 4)

## ГЛАВА 5

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 5.1. Инерционность, память и каузальность объектов и систем управления

- 5.1.1. Если процессы в объекте управления с входом  $u_1$  и выходом  $u_2$  описываются уравнением

$$T_1 T_2 \frac{d^2 u_2}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{du_2}{dt} + u_2(t) = k \left( T_3 \frac{du_1}{dt} + u_1(t) \right),$$

то какие параметры этого объекта определяют его инерционность?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $T_1$ ;    2)  $T_2$ ;    3)  $T_1$  и  $T_2$ ;    4)  $T_3$ ;    5)  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$ .

- 5.1.2. Передаточная функция объекта управления

$$W(s) = \frac{C(s)}{D(s)}.$$

Какая часть этой передаточной функции определяет инерционность протекающих в этом объекте процессов?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $C(s)$ ;    2)  $D(s)$ ;    3)  $C(s)$  и  $D(s)$ ;    4) мало данных.

- 5.1.3. Существует ли взаимная связь между инерционностью системы и нулями её передаточной функции?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) существует;    2) отсутствует;    3) мало данных.

- 5.1.4. Существует ли взаимная связь между инерционностью системы и полюсами её передаточной функции?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) существует;    2) отсутствует;    3) мало данных.

**5.1.5.** Полюса передаточной функции первого объекта управления  $s_1 = -20$ ;  $s_{2,3} = -5 \pm j7$ , а у второго их значения  $s_1 = -5$ ;  $s_{2,3} = -20 \pm j7$ . Какой из этих объектов обладает большей инерционностью?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) первый; 2) второй; 3) у обоих объектов она одинакова; 4) мало данных.

**5.1.6.** При большем или меньшем времени памяти объекта управления можно обеспечить более высокое быстродействие создаваемой для него системы автоматического регулирования?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) при большей; 2) при меньшей; 3) мало данных.

**5.1.7.** Определите время памяти  $\tau_r$  дискретной системы, описываемой моделью

$$x[(n+1)T] = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 0 & -2 \end{bmatrix} \cdot x[nT] + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot u[nT],$$

числом периодов  $T$  её дискретизации.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\tau_r = 0$ ; 2)  $\tau_r = T$ ; 3)  $\tau_r = 2T$ ; 4)  $\tau_r = 3T$ ; 5) мало данных.

**5.1.8.** Какое утверждение относительно каузальности системы можно делать, если модель, описывающая протекающие в ней процессы, имеет вид

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t),$$

где  $x$  – состояние системы,  $u$  – управляющее воздействие, а  $y$  – её выход?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) система не обладает свойством каузальности;  
2) система каузальна;  
3) система строго каузальна;  
4) мало данных.



- 5.1.9.** Какое утверждение относительно каузальности системы можно делать, если модель, описывающая протекающие в ней процессы, имеет вид

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

и при этом  $x$  – состояние системы,  $u$  – управляющее воздействие, а  $y$  – её выход?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) система не обладает свойством каузальности;
- 2) система каузальна;
- 3) система строго каузальна;
- 4) мало данных.

- 5.1.10.** Чему равен индекс каузальности  $K_{ij}$  между выходом  $y_i$  и входом  $u_j$  у системы, описываемой моделью в форме «вход-состояние-выход»:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

если при этом  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$  и  $y \in R^q$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K_{ij} = n$ ;
- 2)  $K_{ij} = m - q$ ;
- 3)  $K_{ij}$  равен разности порядков знаменателя и числителя передаточной функции между выходом  $y_i$  и входом  $u_j$ ;
- 4)  $K_{ij}$  равен порядку знаменателя передаточной функции между выходом  $y_i$  и входом  $u_j$ ;
- 5)  $K_{ij}$  равен порядку производной выхода  $y_i$ , на которую непосредственно влияет вход  $u_j$ .

- 5.1.11.** Какой из вариантов предпочтительнее для повышения быстродействия создаваемой системы автоматического управления: когда индекс каузальности объекта управления выше или ниже?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) когда выше;
- 2) когда ниже;
- 3) быстродействие САУ не зависит от индекса каузальности объекта управления;
- 4) мало данных.

**5.1.12.** Как влияет снижение индекса каузальности одномерной по входу и выходу системы автоматического управления на её функциональную воспроизводимость?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) функциональная воспроизводимость снижается;
- 2) функциональная воспроизводимость повышается;
- 3) функциональная воспроизводимость не изменяется.

**5.1.13.** Определите индекс каузальности между управлением  $u_1$  и выходом  $y_2$  системы, имеющей приведенный на рисунке 5.1 диграф.

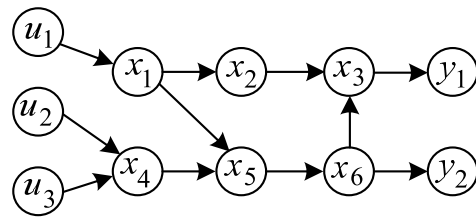


Рис. 5.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;
- 2) 1;
- 3) 2;
- 4) 3;
- 5) мало данных.

**5.1.14.** Определите индекс каузальности системы, диграф которой имеет приведенный на рис. 5.2 вид.

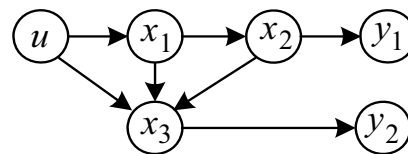


Рис. 5.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;
- 2) 1;
- 3) 2;
- 4) 3;
- 5) мало данных.

**5.1.15.** Определите матрицу  $K$  индексов каузальности системы, диграф которой приведен на рис. 5.3.

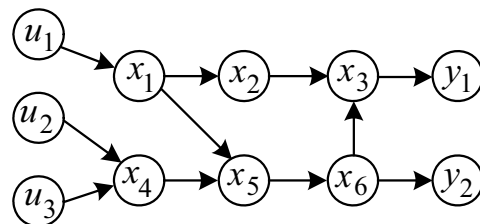
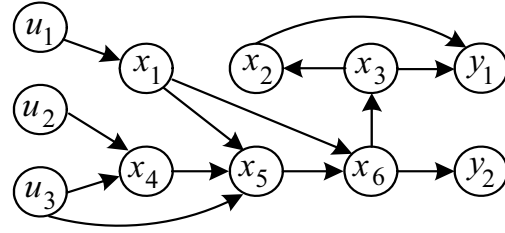


Рис. 5.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 3 \\ 2 & 3 & 2 \end{bmatrix}$ ;
- 2)  $K = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 4 \\ 3 & 3 & 3 \end{bmatrix}$ ;
- 3)  $K = \begin{bmatrix} 4 & 5 & 4 \\ 4 & 5 & 4 \end{bmatrix}$ ;
- 4)  $K = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 2 \\ 2 & 3 & 4 \end{bmatrix}$ .

**5.1.16.** Определите матрицу  $K$  индексов каузальности системы, диграф которой приведен на рис. 5.4.



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

Рис. 5.4

1)  $K = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 3 \\ 2 & 3 & 2 \end{bmatrix};$

3)  $K = \begin{bmatrix} 4 & 5 & 4 \\ 4 & 5 & 4 \end{bmatrix};$

2)  $K = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 2 \\ 3 & 3 & 2 \end{bmatrix};$

4)  $K = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 2 \\ 2 & 3 & 4 \end{bmatrix}.$

**5.1.17.** Определите матрицу  $K$  индексов каузальности системы, описываемой математической моделью типа «вход-состояние-выход»  $\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$ ,  $y(t) = Cx(t)$ , у которой

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 4 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0,5 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $K = [1 \ 2];$

4)  $K = [2 \ 2];$

2)  $K = [1 \ 1];$

5)  $K = [0 \ 2].$

3)  $K = [2 \ 1];$

**5.1.18.** Определите матрицу  $K$  индексов каузальности системы, описываемой уравнениями

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 \\ 0,5 & 0 & -0,7 \\ -3 & 0 & -2,3 \end{bmatrix} \cdot x(t) + \begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 4 & 3 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \cdot u(t),$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -3 & 0 & 2 \end{bmatrix} \cdot x(t).$$

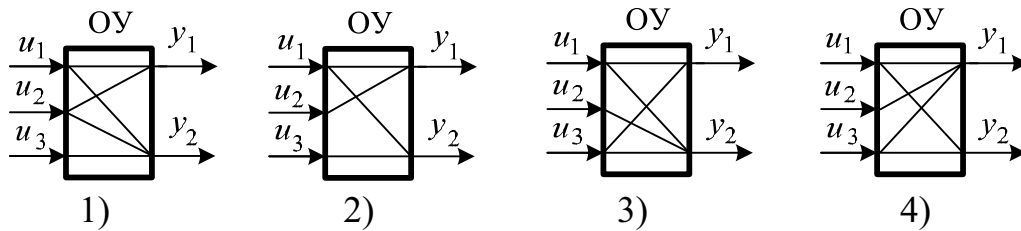
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $K = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix};$  2)  $K = \begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 2 & 1 \end{bmatrix};$  3)  $K = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix};$  4)  $K = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}.$

**5.1.19.** Определите структуру внутренних взаимосвязей между входом  $u \in R^3$  и выходом  $y \in R^2$  в управляемом динамическом объекте ОУ, соответствующую матрице индексов каузальности

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 2 & \infty & 3 \end{bmatrix}.$$

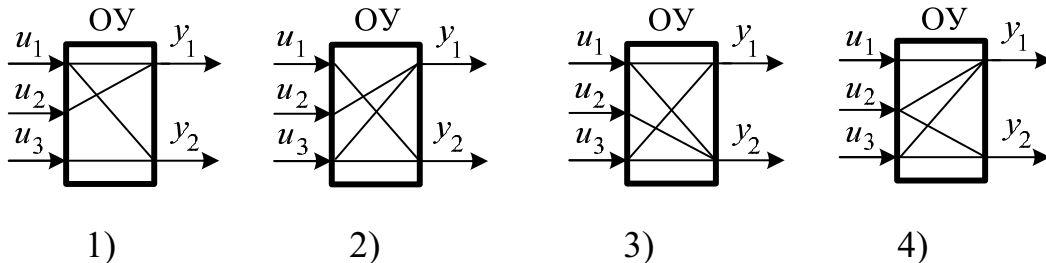
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**5.1.20.** Определите структуру внутренних взаимосвязей между входом  $u \in R^3$  и выходом  $y \in R^2$  в управляемом динамическом объекте ОУ, соответствующую матрице индексов каузальности

$$K = \begin{bmatrix} \infty & 2 & 0 \\ 0 & \infty & 1 \end{bmatrix}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**5.1.21.** При одинаковых по эффективности воздействиях на выходные переменные объекта, какие два из трех управлений следует выбрать для обеспечения максимально возможного быстрогодействия системы автоматического управления, если её матрица индексов каузальности

$$K = \begin{bmatrix} 3 & 2 & \infty \\ 2 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

и систему необходимо реализовать, используя только два управляющих воздействия?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) первое и второе;
- 2) первое и третье;
- 3) второе и третье;
- 4) мало данных.

## 5.2. Управляемость, наблюдаемость, достижимость и восстанавливаемость объектов управления

5.2.1. Что понимается под управляемостью состояния  $x(t_0)$  системы, описываемой моделью

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

в которой  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ;  $y \in R^q$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) состояние  $x(t_0)$  управляемо, если существует такое управление  $u(t)$ , которое переводит систему из  $x(t_0)$  в  $x(t_k) = 0$  за конечное время  $T = t_k - t_0$ ;
- 2) состояние  $x(t_0)$  управляемо, если существует такое управление  $u(t)$ , которое переводит систему из  $x = 0$  в  $x(t_0)$ ;
- 3) состояние  $x(t_0)$  управляемо, если  $m \geq p$ ;
- 4) состояние  $x(t_0)$  управляемо, если  $m \geq n$ .

5.2.2. Что понимается под достижимостью состояния  $x(t_1)$  системы, описываемой моделью

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

в которой  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ;  $y \in R^q$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) состояние  $x(t_0)$  достижимо, если существует такое управление  $u(t)$ , которое переводит систему из  $x(t_1)$  в  $x(t_0) = 0$  за конечное время  $T = t_0 - t_1$ ;
- 2) состояние  $x(t_0)$  достижимо, если существует такое управление  $u(t)$ , которое переводит систему из  $x = 0$  в  $x(t_1)$  за конечное время  $T = t_0 - t_1$ ;
- 3) состояние  $x(t_0)$  достижимо, если  $m \geq p$ ;
- 4) состояние  $x(t_0)$  достижимо, если  $m \geq n$ .

**5.2.3.** Что означает полная управляемость линейной непрерывной системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) возможность её перевода из нулевого начального состояния в любое другое состояние;
- 2) возможность её перевода из любого начального состояния в нулевое начальное состояние;
- 3) возможность её перевода из любого начального состояния в любое другое состояние.

**5.2.4.** Означает ли полная управляемость линейной стационарной непрерывной системы одновременно и её полную достижимость?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) да;
- 2) нет;
- 3) мало данных.

**5.2.5.** Означает ли полная управляемость линейной нестационарной непрерывной системы одновременно и её полную достижимость?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) да;
- 2) нет;
- 3) мало данных.

**5.2.6.** Какое из приведенных ниже условий является условием управляемости состояний системы, описываемой моделью

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t),$$

в которой  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ;  $y \in R^q$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\text{rank} \left[ AB, A^2B, A^3B, \dots, A^{n-1}B \right] = n$ ;
- 2)  $\text{rank} \left[ B, AB, A^2B, A^3B, \dots, A^{n-1}B \right] = n$ ;
- 3)  $\text{rank} \left[ B, BA, BA^2, BA^3, \dots, BA^{n-1} \right] = n$ ;
- 4)  $\text{rank} \left[ A^{-1}B, A^{-2}B, A^{-3}B, \dots, A^{-n}B \right] = n$ .

**5.2.7.** Какое из нижеприведенных условий является условием достижимости состояний системы, описываемой моделью

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t),$$

в которой  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ;  $y \in R^q$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\text{rank} \left[ A^{-1}B, A^{-2}B, A^{-3}B, \dots, A^{-n}B \right] = n$ ;

2)  $\text{rank} \left[ B, AB, A^2B, A^3B, \dots, A^{n-1}B \right] = n$ ;

3)  $\text{rank} \left[ B, BA, BA^2, BA^3, \dots, BA^{n-1} \right] = n$ .

**5.2.8.** Какое из нижеприведенных условий является условием наблюдаемости состояний системы, описываемой моделью

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

в которой  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ;  $y \in R^q$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\text{rank} \left[ C, CA, CA^2, CA^3, \dots, CA^{n-1} \right] = n$ ;

2)  $\text{rank} \left[ C, CA, CA^2, CA^3, \dots, CA^{n-1} \right]^T = n$ ;

3)  $\text{rank} \left[ A^{-1}C, A^{-2}C, A^{-3}C, \dots, A^{-n}C \right] = n$ .

**5.2.9.** Какое из нижеприведенных условий является условием восстанавливаемости состояний системы, описываемой моделью

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

в которой  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ;  $y \in R^q$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\text{rank} \left[ C, CA, CA^2, CA^3, \dots, CA^{n-1} \right] = n$ ;

2)  $\text{rank} \left[ C, CA, CA^2, CA^3, \dots, CA^{n-1} \right]^T = n$ ;

3)  $\text{rank} \left[ C^T A^{-n}, C^T A^{-(n-1)}, C^T A^{-(n-2)}, \dots, C^T A^{-1} \right]^T = n$ .

**5.2.10.** В каком случае линейная непрерывная система, описываемая моделью

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

в которой  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ;  $y \in R^q$ , имеет минимальную реализацию?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) если у неё  $m = p$ ;
- 2) если она вполне управляема и наблюдаема;
- 3) если у неё  $n = m + p$ ;
- 4) мало данных.

**5.2.11.** Каково условие обратимости системы с моделью в виде «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t)?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| 1) $\det(sI - A) = 0$ ;    | 3) $\det A = 0$ ;    |
| 2) $\det(sI - A) \neq 0$ ; | 4) $\det A \neq 0$ . |

**5.2.12.** Какая модель системы с входом  $v$ , выходом  $w$  и состоянием  $z$ , дуальна к системе, которая описывается моделью вида «вход-состояние-выход»:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t)?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| 1) $\dot{z}(t) = A^T z(t) + B^T v(t)$ , | 1) $y(t) = Cx(t) + Du(t)$ ;       |
| 2) $\dot{z}(t) = Az(t) + Bv(t)$ ,       | 2) $w(t) = B^T z(t) + D^T v(t)$ ; |
| 3) $\dot{z}(t) = A^T z(t) + C^T v(t)$ , | 3) $w(t) = B^T z(t) + D^T v(t)$ ; |
| 4) $\dot{z}(t) = Az(t) + Bv(t)$ ,       | 4) $w(t) = C^T z(t) + D^T v(t)$ . |

**5.2.13.** Какому свойству соответствует управляемость системы у дуальной для неё системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) наблюдаемости;
- 2) достижимости;
- 3) восстанавливаемости.



**5.2.14.** Какому свойству соответствует достижимость системы у дуальной для неё системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) управляемости; 2) наблюдаемости; 3) восстанавливаемости.

**5.2.15.** Оцените управляемость системы с моделью

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx$$

при условии, что

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 1 \quad 0].$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) система управляема; 3) мало данных.  
2) система не управляема;

**5.2.16.** При каких значениях действительного параметра  $\alpha$  система

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 2 & \alpha-1 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \end{bmatrix} u, \quad y = [1 \quad 0]x$$

теряет свойство управляемости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\alpha = 0$ ; 2)  $\alpha = -1$ ; 3)  $\alpha = 2$ ; 4)  $\alpha = -2$ ; 5)  $\alpha = 1$ .

**5.2.17.** Оцените наблюдаемость системы  $\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx$ , где

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \quad 1 \quad 0].$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) система наблюдаема; 3) мало данных.  
2) система не наблюдаема;

5.2.18. По приведенному на рис. 5.5 диграфу системы, включающему составляющие векторов управления  $u$ , состояния  $x$  и выхода  $y$ , определите управляемость её состояния.

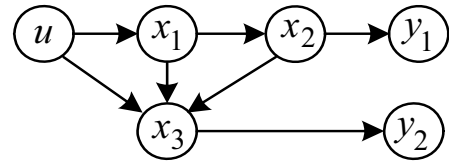


Рис. 5.5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) система управляема;
- 2) система не управляема;

3) мало данных.

5.2.19. По приведенному на рис. 5.6 диграфу системы, включающему составляющие векторов управления  $u$ , состояния  $x$  и выхода  $y$ , определите управляемость её состояния.

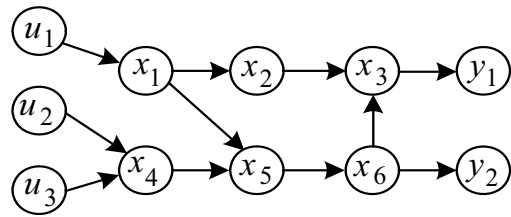


Рис. 5.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) управляемо;
- 2) не управляемо;

3) мало данных.

5.2.20. Что понимается под индексом управляемости линейной стационарной обыкновенной системы, описываемой моделью вида «вход-состояние-выход»  $n$ -го порядка

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t)?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\min r$ , при котором выполняется условие  $\text{rank} [B, AB, A^2B, \dots, A^r B] = n$ ;
- 2)  $\min r$ , при котором выполняется условие  $\text{rank} [A^{-1}B, A^{-2}B, A^{-3}B, \dots, A^{-r}B] = n$ ;
- 3)  $\max r$ , при котором выполняется условие  $\text{rank} [B, AB, A^2B, \dots, A^r B] \neq n$ ;
- 4)  $\max r$ , при котором выполняется условие  $\text{rank} [A^{-1}B, A^{-2}B, A^{-3}B, \dots, A^{-r}B] \neq n$ .

**5.2.21.** Определите значения индекса управляемости  $k_1$  по управлению  $u_1$  у системы, диграф которой представлен на рис. 5.7.

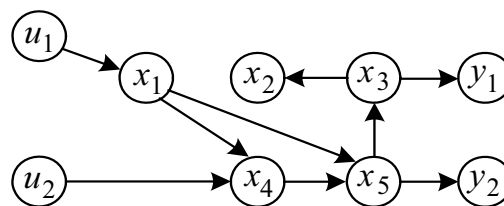


Рис. 5.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $k_1 = 0$ ;                      3)  $k_1 = 2$ ;  
 2)  $k_1 = 1$ ;                      4)  $k_1 = 3$ ;

5) мало данных.

**5.2.22.** Определите значения индекса управляемости системы, диграф которой представлен на рис. 5.8.

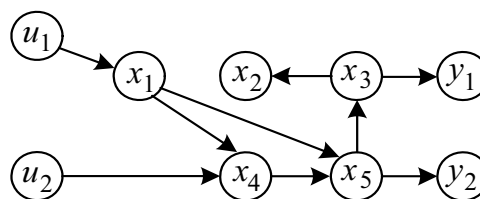


Рис. 5.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) 4;                      5) мало данных.

**5.2.23.** Каков индекс наблюдаемости у системы, диграф которой приведен на рис. 5.9?

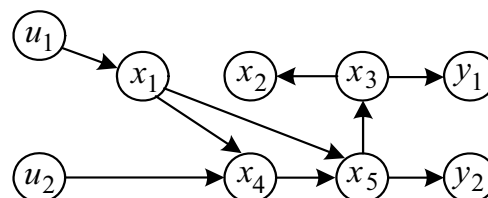


Рис. 5.9

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) 4;                      5) мало данных.

**5.2.24.** Какого дополнительного эффекта можно добиться в системе автоматического управления объектом, если будет снижен индекс его управляемости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) можно повысить быстродействие системы управления;  
 2) можно повысить точность системы управления;  
 3) можно повысить устойчивость системы;  
 4) мало данных.

**5.2.25.** Обладает ли свойством структурной управляемости система, описываемая моделью

$$\dot{x} = A x + B u, \quad y = C x,$$

при условии, что

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad C = [0 \quad 1 \quad 0]?$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

1) обладает;                      2) не обладает;                      3) мало данных.

**5.2.26.** Обладает ли свойством структурной наблюдаемости система, описываемая уравнениями

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 \\ 0,5 & 0 & -0,7 \\ -3 & 0 & -2,3 \end{bmatrix} \cdot x(t) + \begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 4 & 3 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \cdot u(t),$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -3 & 0 & 2 \end{bmatrix} \cdot x(t)?$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

1) обладает;                      2) не обладает;                      3) мало данных.

## ГЛАВА 6

### УСТОЙЧИВОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 6.1. Условия устойчивости линейных и линеаризованных непрерывных систем

**6.1.1.** Если все корни характеристического уравнения линеаризованной математической модели системы, записанной относительно анализируемого на устойчивость состояния равновесия (процесса), имеют отрицательные вещественные части, то что можно гарантированно утверждать относительно устойчивости этого состояния равновесия (процесса)?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) состояние равновесия (процесс) устойчиво «в малом»;
- 2) состояние равновесия (процесс) устойчиво «в большом»;
- 3) состояние равновесия (процесс) устойчиво «в целом»;
- 4) мало данных.

**6.1.2.** Какая часть операторного уравнения  $A(p)y(t) = B(p)x(t)$ , описывающего процессы в системе с входом  $x(t)$  и выходом  $y(t)$ , определяет устойчивость системы, если в нем  $p \triangleq \frac{d}{dt}$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) правая;
- 2) левая;
- 3) и правая, и левая.

**6.1.3.** Какому требованию должна удовлетворять свободная составляющая  $y_{св}(t)$  переходного процесса асимптотически устойчивой системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\lim_{t \rightarrow 0} y_{св}(t) = \text{const}$ ;
- 2)  $\lim_{t \rightarrow 0} y_{св}(t) = 0$ ;
- 3)  $\lim_{t \rightarrow \infty} y_{св}(t) = 0$ ;
- 4)  $\lim_{t \rightarrow T} y_{св}(t) = 0$ .

**6.1.4.** Какому требованию должна удовлетворять переходная функция  $h(t)$  устойчивой системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\lim_{t \rightarrow 0} h(t) = \text{const};$

3)  $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = \infty;$

2)  $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = \text{const};$

4)  $\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = 0.$

**6.1.5.** Устойчиво ли «в большом» невозмущенное движение нелинейной системы, если все корни характеристического уравнения, соответствующего её линейной модели первого приближения, находятся в левой полуплоскости комплексной плоскости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) устойчиво;

3) на границе устойчивости;

2) неустойчиво;

4) мало данных.

**6.1.6.** Устойчиво ли «в малом» невозмущенное движение нелинейной системы, если характеристическое уравнение, соответствующее её линейным уравнениям первого приближения, имеет один корень в правой полуплоскости комплексной плоскости корней, а все остальные – в левой?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) устойчиво;

3) на границе устойчивости;

2) неустойчиво;

4) мало данных.

**6.1.7.** Устойчиво ли «в малом» невозмущенное движение нелинейной системы, если один корень характеристического уравнения, соответствующего её линейным уравнениям первого приближения, находится на мнимой оси комплексной плоскости корней, а все остальные – в левой полуплоскости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) устойчиво;

3) на границе устойчивости;

2) неустойчиво;

4) мало данных.

**6.1.8.** Устойчива ли линейная непрерывная система третьего порядка с расположением корней характеристического уравнения, показанным на рис. 6.1?

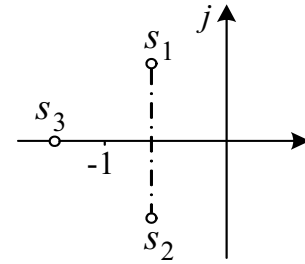


Рис. 6.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.1.9.** Устойчива ли линейная непрерывная система 3-го порядка с указанным на рис. 6.2 расположением корней характеристического уравнения?

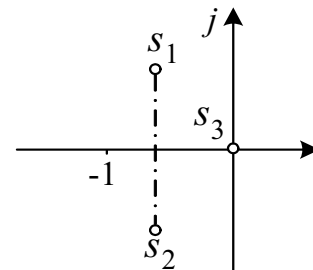


Рис. 6.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.1.10.** Устойчива ли замкнутая линейная непрерывная система с единичной отрицательной обратной связью, если все корни её характеристического уравнения в разомкнутом состоянии имеют заданное на рис. 6.3 расположение?

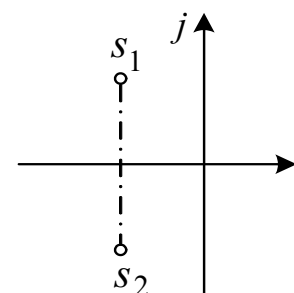


Рис. 6.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

## 6.2. Алгебраические критерии устойчивости

6.2.1. Устойчивость замкнутых или разомкнутых систем можно оценивать, используя алгебраические критерии устойчивости Гурвица и Рауса?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) только замкнутых;
- 2) только разомкнутых;
- 3) и замкнутых, и разомкнутых.

6.2.2. Необходимым или достаточным условием устойчивости системы  $n$ -го порядка при  $n \geq 3$  является одинаковость знаков всех коэффициентов его характеристического уравнения?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) достаточным;
- 2) необходимым;
- 3) необходимым и достаточным.

6.2.3. Могут ли быть у устойчивой системы с характеристическим уравнением

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0$$

равными нулю отдельные коэффициенты  $a_i$  ( $i \in \overline{1, n-1}$ )?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) могут;
- 2) не могут;
- 3) мало данных.

6.2.4. Устойчива ли система с характеристическим уравнением

$$2s^4 + 3s^2 + 5s + 1 = 0?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |



6.2.5. Устойчива ли система с характеристическим уравнением

$$2s^3 - s^2 + 3s + 4 = 0?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива; 3) на границе устойчивости;  
2) неустойчива; 4) мало данных.

6.2.6. Какому условию должны удовлетворять определитель матрицы Гурвица  $\Delta_n$  и её диагональные миноры  $\Delta_i, i = \overline{1, n-1}$  у устойчивой системы с характеристическим уравнением

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a_n > 0$  и  $\Delta_{n-1} > 0$ ; 3)  $a_n > 0$  и  $\Delta_i > 0$ , где  $i = \overline{1, n}$ ;  
2)  $\Delta_i > 0, i = \overline{1, n-1}$ ; 4)  $\Delta_i > 0, i = \overline{1, n}$ .

6.2.7. Устойчива ли система с характеристическим уравнением

$$a_3 s^3 + s^2 + s + 1 = 0, ?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива; 3) на границе устойчивости;  
2) неустойчива; 4) мало данных.

6.2.8. Какому условию должны удовлетворять определитель матрицы Гурвица  $\Delta_n$  и её диагональные миноры  $\Delta_i, i = \overline{1, n-1}$  у системы с характеристическим уравнением

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0,$$

находящейся на границе устойчивости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\Delta_i = 0, i \in \overline{1, n}$  и  $\text{sign } \Delta_j = \text{sign } a_n, j \neq i$ ; 4)  $\Delta_i < 0, i \in \overline{1, n-1}$ .  
2)  $a_n = 0, \Delta_i > 0, i \in \overline{1, n-1}$ ;  
3)  $\Delta_n > 0, a_i = 0, i \in \overline{1, n-1}$ ;

**6.2.9.** Какое условие является необходимым и достаточным для устойчивости системы с характеристическим уравнением

$$a_2 s^2 + a_1 s + a_0 = 0 ?$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) положительность одного коэффициента характеристического уравнения;
- 2) положительность двух коэффициентов характеристического уравнения;
- 3) положительность коэффициентов  $a_2$  и  $a_1$  характеристического уравнения;
- 4) все коэффициенты характеристического уравнения имеют одинаковые знаки.

**6.2.10.** Какое условие является необходимым и достаточным для устойчивости системы с характеристическим уравнением

$$a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 = 0 ?$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) все коэффициенты характеристического уравнения положительны;
- 2) все коэффициенты характеристического уравнения имеют одинаковые знаки и  $a_1 a_2 > a_0 a_3$ ;
- 3) все коэффициенты характеристического уравнения и разность  $(a_1 a_2 - a_0 a_3)$  имеют одинаковые знаки;
- 4)  $a_0 > 0, a_0 a_2 - a_1 a_3 > 0$ ;
- 5)  $a_0 > 0, a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$ .

**6.2.11.** Устойчива ли система с характеристическим уравнением

$$s^4 + 2s^3 + 5s^2 + 10s + 10 = 0 ?$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

6.2.12. Устойчива ли система, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 6.4?

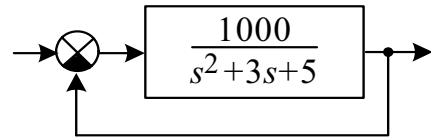


Рис. 6.4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

6.2.13. Устойчива ли система, имеющая операторно-структурную схему, представленную на рис. 6.5?

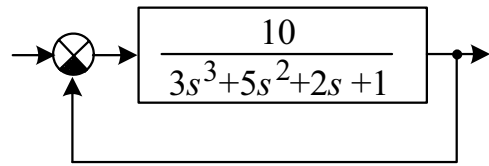


Рис. 6.5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

6.2.14. Устойчива ли система, имеющая операторно-структурную схему, представленную на рис. 6.6?

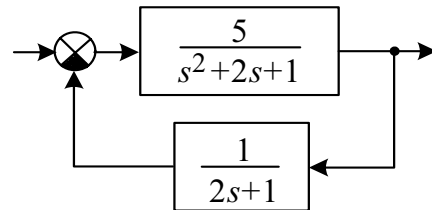


Рис. 6.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

6.2.15. Определите условия устойчивости системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 6.7?

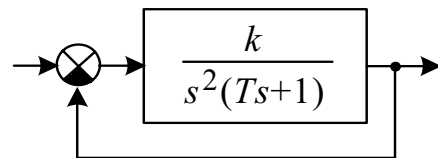


Рис. 6.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                     |   |
|---------------------|---|
| 1) $k > 1$ ;        | 3) при любых значениях $k$ и $T$ система устойчива;   |
| 2) $T > 0, k > 0$ ; | 4) при любых значениях $k$ и $T$ система неустойчива. |

6.2.16. Устойчива ли система (рис. 6.8) в разомкнутом и в замкнутом состояниях?

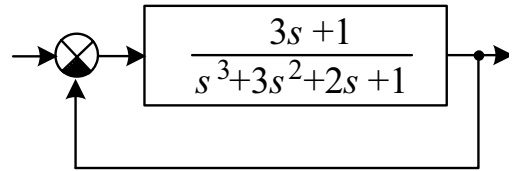


Рис. 6.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива в разомкнутом и замкнутом состоянии;
- 2) неустойчива в разомкнутом и замкнутом состоянии;
- 3) в разомкнутом состоянии устойчива, в замкнутом – неустойчива;
- 4) в разомкнутом состоянии неустойчива, в замкнутом – устойчива;
- 5) в разомкнутом состоянии неустойчива, в замкнутом – на границе устойчивости.

6.2.17. Определите наибольший критический коэффициент передачи системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 6.9.

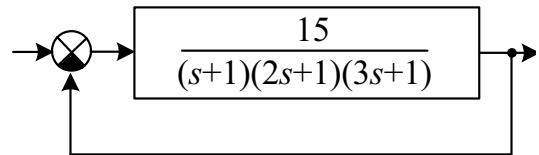


Рис. 6.9

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 11;      2) 10;      3) 1;      4) 8;      5) ∞.

6.2.18. Определите наибольший критический коэффициент передачи  $k_{кр}$  системы, операторно-структурная схема которой приведена на рис. 6.10.

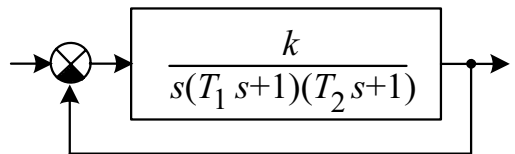


Рис. 6.10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) ∞;
- 2)  $\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}$ ;
- 3) 1;
- 4)  $T_1 + T_2$ ;
- 5) мало данных.

**6.2.19.** Можно ли, используя критерий устойчивости Рауса, оценить устойчивость системы десятого порядка с двумя обратными связями разных знаков?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) можно;                      2) нельзя;                      3) мало данных.

**6.2.20.** Составьте таблицу Рауса и оцените устойчивость системы с характеристическим уравнением

$$3s^4 + 2s^3 + 4s^2 + s + 2 = 0.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

2	4	3
1	2	0
0	0	3
2	0	0
0	0	0

3	2	4
1	2	0
-4	4	0
18	0	0
4	0	0

3	4	2
2	1	0
2,5	2	0
-0,6	0	0
2	0	0

- 1) система на границе устойчивости;                      2) система устойчива;                      3) система неустойчива.

**6.2.21.** Составьте таблицу Рауса и оцените устойчивость системы с характеристическим уравнением

$$s^5 + 2s^4 + 4s^3 + 5s^2 + s + 1 = 0.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1	5	2
1	4	1
1	1	0
3	1	0
2/3	0	0
1	0	0

1	4	1
2	5	1
1,5	0,5	0
13/3	1	0
2/13	0	0
1	0	0

1	2	4
5	1	1
1,8	3,8	0
-32/18	1	0
4,81	0	0
1	0	0

- 1) система на границе устойчивости;                      2) система устойчива;                      3) система неустойчива.

**6.2.22.** Устойчива ли система, описываемая моделью в форме «вход-состояние-выход»:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & -2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 20 \\ 0 \end{bmatrix} u, \quad y = [0 \quad 0 \quad 1] x?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива; 3) на границе устойчивости;  
 2) неустойчива; 4) мало данных.

**6.2.23.** Устойчива ли система, описываемая моделью в форме «вход-состояние-выход»  $\dot{x}(t) = Ax + Bu$ ;  $y = Cx$ , у которой

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 4 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива; 3) на границе устойчивости;  
 2) неустойчива; 4) мало данных.

**6.2.24.** Можно ли обеспечить устойчивость системы автоматического регулирования, схема которой представлена на рис. 6.11, только за счет её параметрической перенастройки?

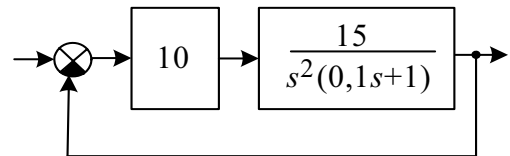


Рис. 6.11

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) можно; 2) нельзя; 3) мало данных.

**6.2.25.** Стабилизируема ли система автоматического регулирования, операторно-структурная схема которой представлена на рисунке 6.12, при использовании в ней ПИ-регулятора?

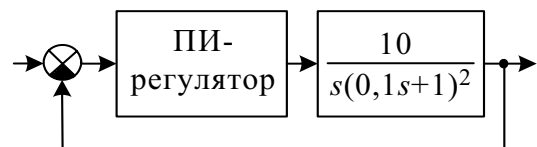


Рис. 6.12

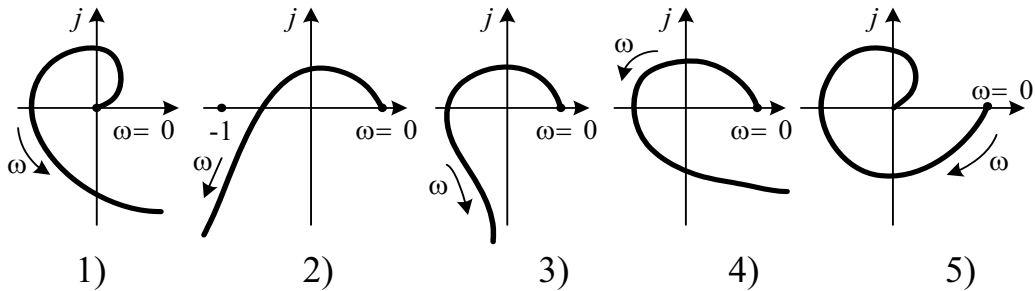
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) стабилизируема; 3) мало данных.  
 2) не стабилизируема;



6.3.4. Какой годограф Михайлова соответствует устойчивой системе четвертого порядка?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



6.3.5. Устойчива ли система с приведенным на рис. 6.14 годографом Михайлова?

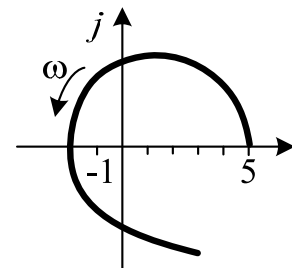


Рис. 6.14

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

6.3.6. Устойчива ли система шестого порядка с приведенным на рис. 6.15 годографом Михайлова?

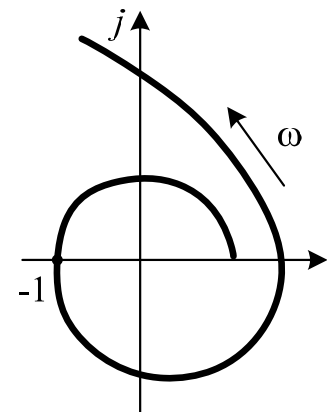


Рис. 6.15

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |



6.3.7. Устойчива ли система с приведенным на рис. 6.16 годографом Михайлова?

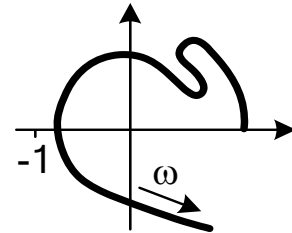


Рис. 6.16

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

6.3.8. Каким должно быть соотношение корней  $\omega_0 < \omega_2 < \omega_4 < \dots$  вещественной  $M_1(\omega)$  и  $\omega_1 < \omega_3 < \omega_5 < \dots$  мнимой  $M_2(\omega)$  частей функции Михайлова для устойчивой системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\omega_1 < \omega_3 < \omega_5 < \dots$  и  $\omega_0 < \omega_2 < \omega_4 < \dots$ ;
- 2)  $\omega_i > 0$  ( $i = 0, 1, 2, \dots$ );
- 3)  $\omega_0 < \omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \dots$ ;
- 4)  $\omega_1 < \omega_0 < \omega_3 < \omega_2 < \omega_5 < \dots$ ;
- 5)  $\omega_0 = \omega_1, \omega_2 = \omega_3, \omega_4 = \omega_5, \dots$

6.3.9. Устойчива ли системы 5-го порядка, имеющая приведенные на рис. 6.17 графики вещественной  $X(\omega)$  и мнимой  $Y(\omega)$  частей функции Михайлова?

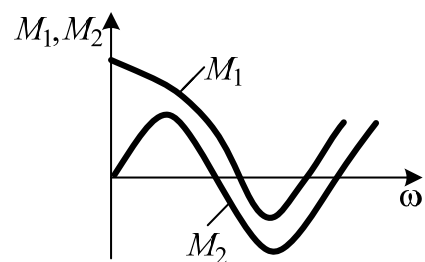


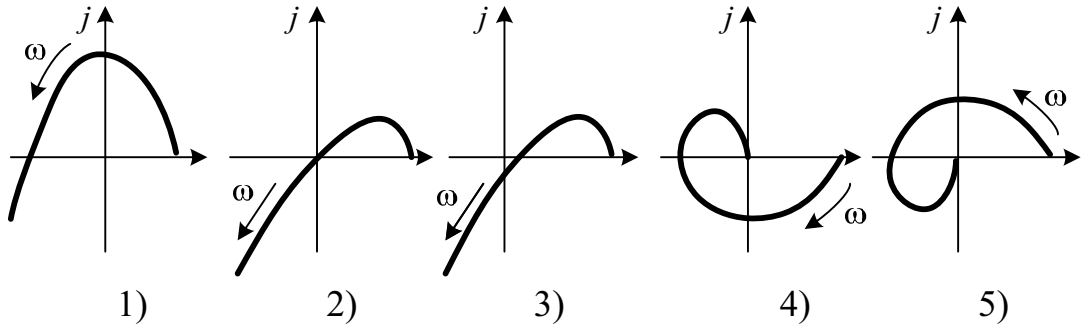
Рис. 6.17

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.3.10.** Какой годограф Михайлова соответствует замкнутой САР с единичной отрицательной обратной связью и передаточной функцией в разомкнутом состоянии  $W_p(s) = \frac{10}{(1+2s)^3}$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**6.3.11.** Оцените устойчивость замкнутой системы 4-го порядка с единичной отрицательной обратной связью, передаточной функцией  $W(s) = \frac{10}{A(s)}$  в разомкнутом состоянии и приведенным на рис. 6.18 годографом  $A(j\omega)$ .

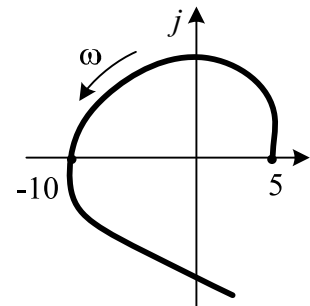


Рис. 6.18

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.3.12.** При каком значении  $K > 0$  замкнутая статическая система 5-го порядка с единичной отрицательной обратной связью находится на границе устойчивости, если её передаточная функция в разомкнутом состоянии  $W_p(s) = \frac{K}{A(s)}$  и годограф Михайлова имеет указанный на рис. 6.19 вид?

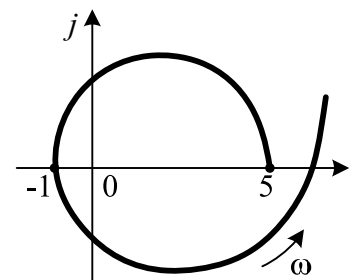


Рис. 6.19

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |       |       |       |                 |
|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| 1) 6; | 2) 5; | 3) 4; | 4) 1; | 5) мало данных. |
|-------|-------|-------|-------|-----------------|

- 6.3.13. Определите критический коэффициент  $K_{кр} > 0$  системы 4-го порядка с представленными на рис. 6.20 структурной схемой и годографом  $A(j\omega)$ .

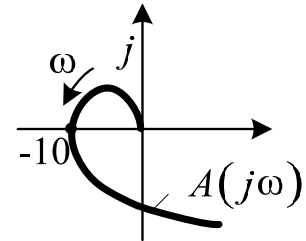
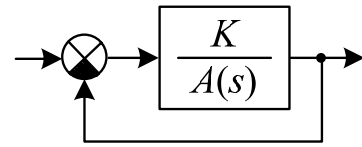


Рис. 6.20

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 11;      2) 10;      3) 9;      4) 1;      5) мало данных.

- 6.3.14. Какой из представленных на рис. 6.21 годографов Михайлова соответствует статической системе с наибольшим критическим коэффициентом передачи, если передаточная функция её в разомкнутом состоянии  $W(s) = \frac{K}{A(s)}$ , причем  $A(0) = 1$ ?

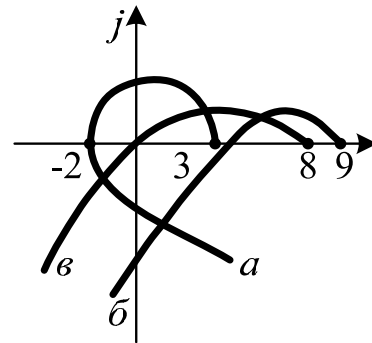


Рис. 6.21

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) а;      2) б;      3) в.

- 6.3.15. Определите значение критического коэффициента передачи  $K_{кр} > 0$  у астатической системы 7-го порядка, если годограф Михайлова этой системы имеет представленный на рис. 6.22 вид.

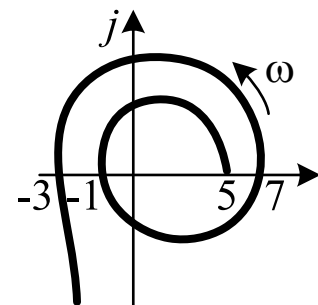


Рис. 6.22

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 4;      2) 5;      3) 6;      4) 8;      5) мало данных.

## 6.4. Критерий устойчивости Найквиста

- 6.4.1. Об устойчивости каких систем (замкнутых или разомкнутых) судят по амплитудно-фазовой частотной характеристике (АФЧХ) разомкнутой системы, используя критерий Найквиста?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) разомкнутых;
  - 2) замкнутых с отрицательной обратной связью;
  - 3) замкнутых с положительной обратной связью;
  - 4) и разомкнутых, и замкнутых.
- 6.4.2. Можно ли использовать критерий Найквиста для оценки устойчивости системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 6.23?

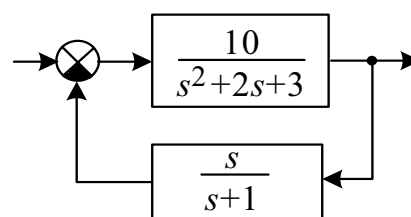


Рис. 6.23

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) можно;
  - 2) нельзя;
  - 3) мало данных.
- 6.4.3. Определите аналитическое выражение для вектора амплитудно-фазового годографа системы (рис. 6.24) в разомкнутом состоянии, который следует использовать для оценки устойчивости этой системы по критерию Найквиста.

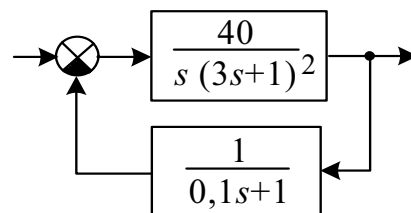


Рис. 6.24

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{40}{j\omega(1+j3\omega)^2}$ ;
- 2)  $\frac{40}{j\omega(1+j0,1\omega)(1+j3\omega)^2}$ ;
- 3)  $j\omega(1+j0,1\omega)(1+j3\omega)^2 + 40$ ;
- 4)  $\frac{40}{\omega(1+9\omega^2)}$ ;
- 5)  $\frac{40}{\omega(1+9\omega^2)\sqrt{1+(0,1\omega)^2}}$ .

6.4.4. Устойчива ли замкнутая система автоматического регулирования с единичной отрицательной обратной связью, если она в разомкнутом состоянии устойчива и имеет представленный на рис. 6.25 амплитудно-фазовый годограф?

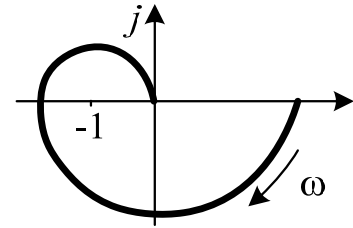


Рис. 6.25

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

6.4.5. Устойчива ли замкнутая система автоматического регулирования с единичной отрицательной обратной связью, если она в разомкнутом состоянии устойчива и имеет приведенный на рис. 6.26 амплитудно-фазовый годограф?

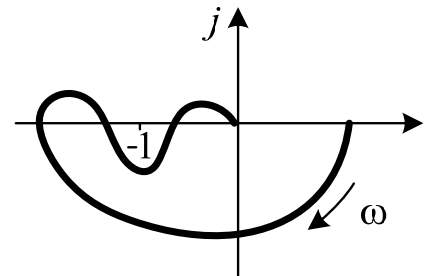


Рис. 6.26

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

6.4.6. Устойчива ли замкнутая система автоматического регулирования с единичной отрицательной обратной связью и приведенным на рис. 6.27 амплитудно-фазовым годографом в разомкнутом состоянии?

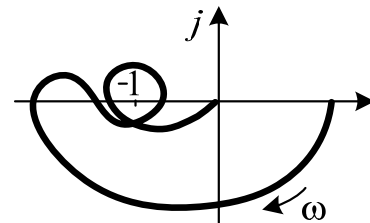


Рис. 6.27

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.4.7.** Устойчива ли замкнутая система автоматического регулирования с единичной отрицательной обратной связью, состоящая из последовательно включенных минимально-фазовых звеньев и имеющая в разомкнутом состоянии приведенный на рис. 6.28 амплитудно-фазовый годограф?

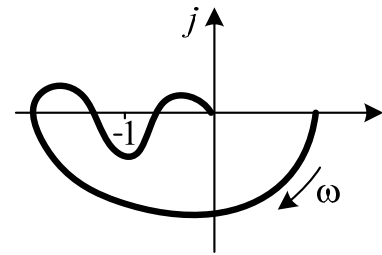


Рис. 6.28

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.4.8.** Система автоматического регулирования с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии имеет передаточную функцию с двумя правыми полюсами и амплитудно-фазовый годограф, приведенный на рис. 6.29. Устойчива ли эта система в замкнутом состоянии?

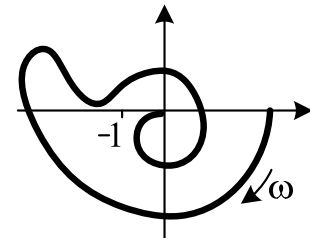


Рис. 6.29

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.4.9.** Устойчива ли замкнутая система 3-го порядка с отрицательной обратной связью, имеющая приведенный на рис. 6.30 амплитудно-фазовый годограф в разомкнутом состоянии?

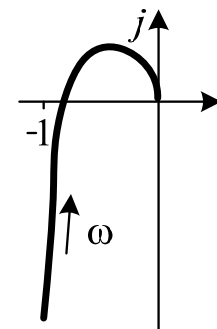


Рис. 6.30

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.4.10.** Система с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии имеет приведенный на рис. 6.31 амплитудно-фазовый годограф. Устойчива ли она в замкнутом состоянии?

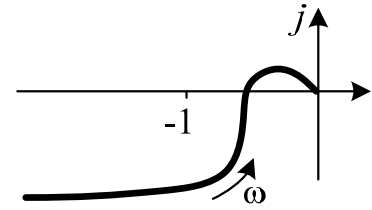


Рис. 6.31

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.4.11.** Устойчива ли замкнутая система с единичной отрицательной обратной связью и астатизмом третьего порядка, если её амплитудно-фазовый годограф в разомкнутом состоянии имеет приведенный на рис. 6.32 вид?

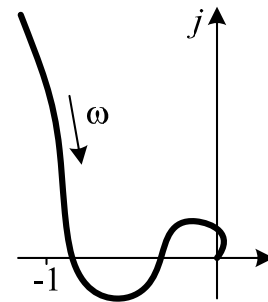


Рис. 6.32

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.4.12.** Даны обратные амплитудно-фазовые годографы систем, устойчивых в разомкнутом состоянии (рис. 6.33). Какой из них соответствует устойчивой замкнутой системе?

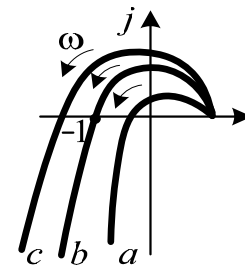


Рис. 6.33

- ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:
- |       |       |       |                    |                 |
|-------|-------|-------|--------------------|-----------------|
| 1) a; | 2) b; | 3) c; | 4) ни один из них; | 5) мало данных. |
|-------|-------|-------|--------------------|-----------------|

**6.4.13.** Устойчива ли замкнутая система, если она в разомкнутом состоянии неустойчива, имеет два правых полюса и обратный АФГ приведенного на рис. 6.34 вида?

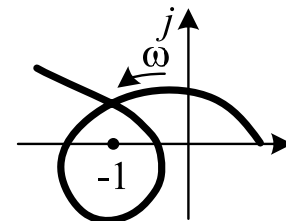


Рис. 6.34

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.4.14.** Устойчива ли система с отрицательной обратной связью, если в разомкнутом состоянии она устойчива и имеет приведенные на рис. 6.35 ЛАЧХ и ЛФЧХ?

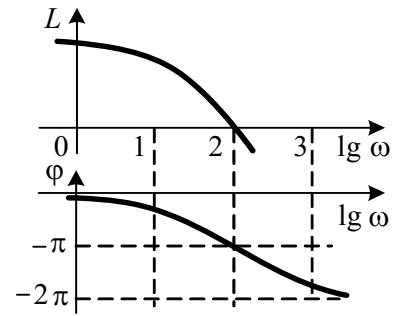


Рис. 6.35

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.4.15.** Устойчива ли замкнутая система с отрицательной обратной связью, если в разомкнутом состоянии она устойчива и имеет ЛАЧХ и ЛФЧХ, приведенные на рис. 6.36?

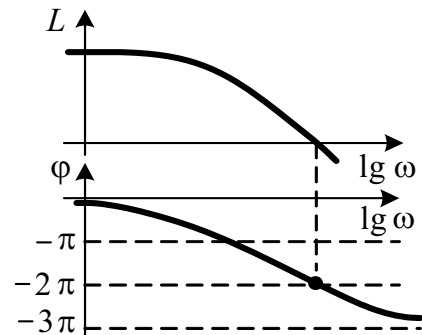


Рис. 6.36

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**6.4.16.** Устойчива ли замкнутая система с отрицательной обратной связью, если в разомкнутом состоянии она устойчива и имеет приведенные на рис. 6.37 ЛАЧХ и ЛФЧХ?

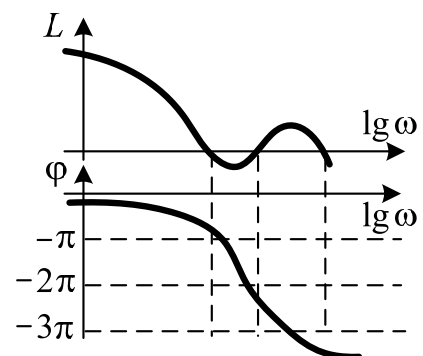


Рис. 6.37

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |



6.4.17. Устойчива ли замкнутая минимально-фазовая система с отрицательной обратной связью, если в разомкнутом состоянии она устойчива и имеет приведенные на рис. 6.38 ЛАЧХ и ЛФЧХ?

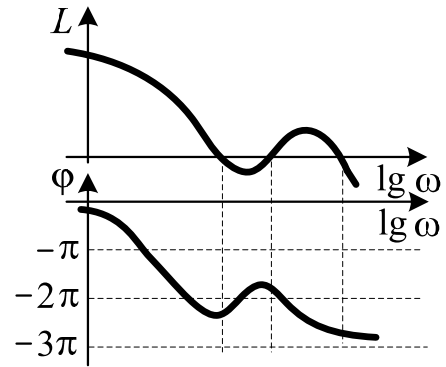


Рис. 6.38

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;
- 2) неустойчива;
- 3) на границе устойчивости;
- 4) мало данных.

6.4.18. Устойчива ли замкнутая система с отрицательной обратной связью, если в разомкнутом состоянии она устойчива и имеет приведенные на рис. 6.39 ЛАЧХ и ЛФЧХ?

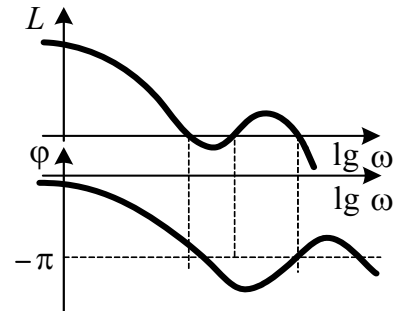


Рис. 6.39

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;
- 2) неустойчива;
- 3) на границе устойчивости;
- 4) мало данных.

6.4.19. Устойчива ли замкнутая система с отрицательной обратной связью, если в разомкнутом состоянии она имеет приведенные на рис. 6.40 ЛАЧХ, ЛФЧХ и два правых корня характеристического уравнения?

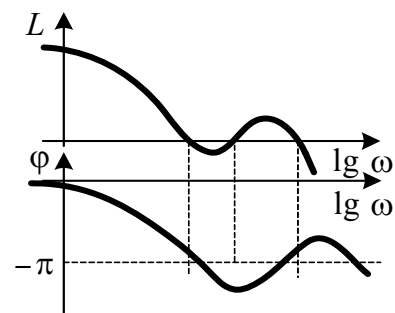


Рис. 6.40

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;
- 2) неустойчива;
- 3) на границе устойчивости;
- 4) мало данных.

6.4.20. Устойчива ли замкнутая система с отрицательной обратной связью, если в разомкнутом состоянии она минимально-фазовая и имеет приведенную на рис. 6.41 ЛАЧХ?

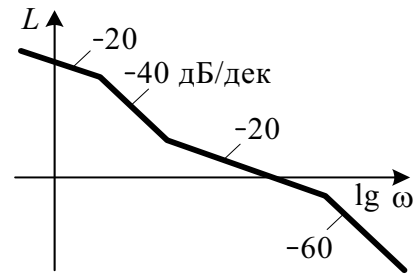


Рис. 6.41

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;
- 2) неустойчива;
- 3) на границе устойчивости;
- 4) мало данных.

6.4.21. Устойчива ли замкнутая САР с единичной отрицательной обратной связью, если в разомкнутом состоянии она минимально-фазовая и имеет приведенную на рис. 6.42 ЛАЧХ?

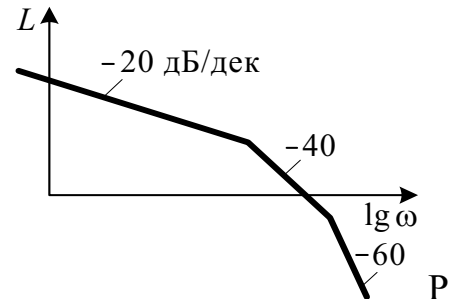


рис. 6.42

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;
- 2) неустойчива;
- 3) на границе устойчивости;
- 4) мало данных.

6.4.22. По амплитудно-фазовому годографу замкнутой САР с единичной ООС в разомкнутом состоянии (рис. 6.43) определите критическое значение её статического коэффициента передачи в разомкнутом состоянии.

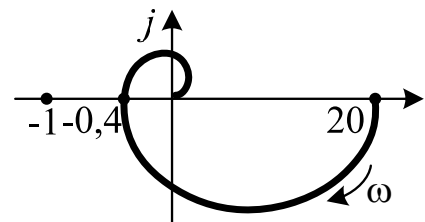


Рис. 6.43

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 20;
- 2) 40;
- 3) 50;
- 4) 80;
- 5) мало данных.

6.4.23. По амплитудно-фазовому годографу системы (рис. 6.44) определите диапазон значений ее статического коэффициента передачи  $K$ , при котором эта система будет устойчива при охвате её единичной отрицательной обратной связью.

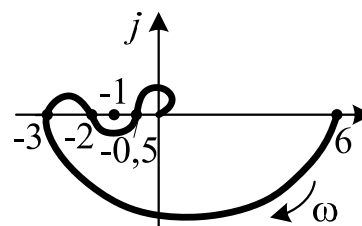


Рис. 6.44

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1) $K > 12$ и $3 < K < 10$ ; | 4) $3 < K < 12$ и $-1 < K < 2$ ; |
| 2) $0 < K < 3$ ;             | 5) $K > 2$ .                     |
| 3) $0,5 < K < 2$ ;           |                                  |

6.4.24. Даны для замкнутой САР с единичной отрицательной обратной связью её логарифмические частотные характеристики в разомкнутом состоянии (рис. 6.45). Определите ближайшее значение к величине её критической добротности по скорости в разомкнутом состоянии.

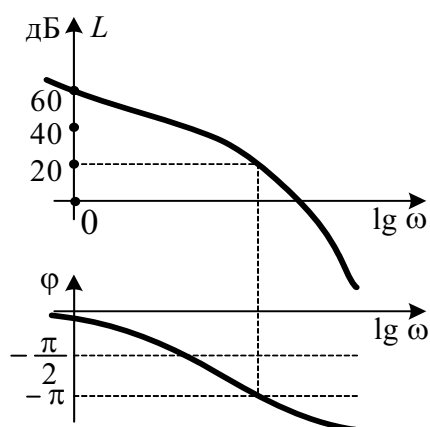


Рис. 6.45

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |               |       |        |         |          |
|---------------|-------|--------|---------|----------|
| 1) $\infty$ ; | 2) 1; | 3) 10; | 4) 100; | 5) 1000. |
|---------------|-------|--------|---------|----------|

6.4.25. САР с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии имеет приведенные на рис. 6.46 логарифмические частотные характеристики. Определите приблизительно диапазон значений её статического коэффициента передачи  $K$  в разомкнутом состоянии, при котором она будет устойчивой.

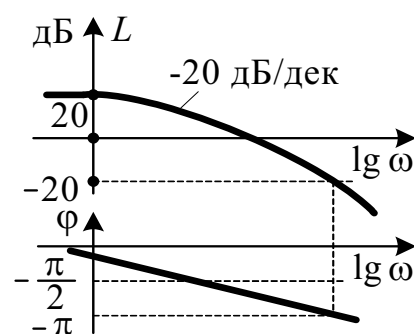


Рис. 6.46

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| 1) $0 < K < 5$ ;    | 4) $0 < K < 1000$ ;   |
| 2) $-1 < K < 10$ ;  | 5) $0 < K < \infty$ . |
| 3) $-1 < K < 100$ ; |                       |

## 6.5. Выделение областей устойчивости в пространстве параметров системы (Д-разбиение)

6.5.1. Правильно ли заштрихована граница Д-разбиения в плоскости одного параметра, приведенная на рис. 6.47?

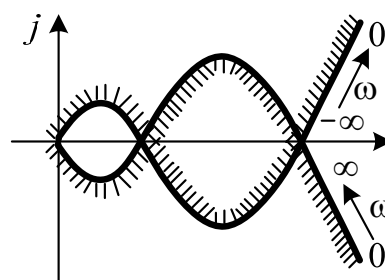


Рис. 6.47

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) правильно;                      2) неправильно;

3) мало данных.

6.5.2. Правильно ли заштрихована граница Д-разбиения в плоскости одного параметра, приведенная на рис. 6.48?

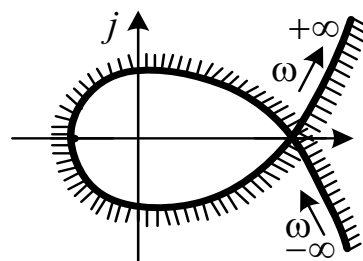


Рис. 6.48

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) правильно;                      2) неправильно;

3) мало данных.

6.5.3. Какая из приведенных на рис. 6.49 областей Д-разбиения в плоскости одного комплексного параметра является претендентом на область устойчивости?

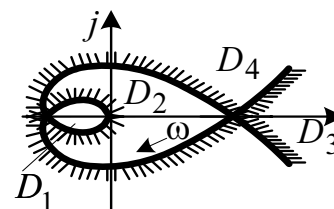


Рис. 6.49

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $D_1$ ;      2)  $D_2$ ;      3)  $D_3$ ;      4)  $D_4$ ;

5) мало данных.

6.5.4. Устойчива ли будет система, если значение её параметра  $\lambda$  выбрать из области  $D_3$  его Д-разбиения (рис. 6.50)?

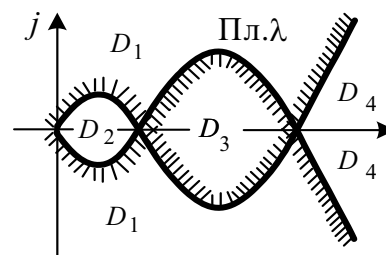


Рис. 6.50

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;                      2) неустойчива;

3) мало данных.

6.5.5. Сколько корней с положительной вещественной частью имеет характеристическое уравнение системы, если значение параметра  $\lambda$  выбрано (рис. 6.51) из области  $D_1$ , а  $D_2$  – область устойчивости?

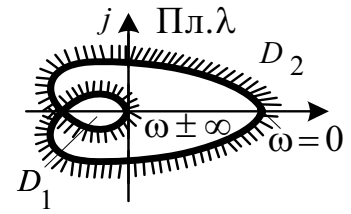


Рис. 6.51

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2) 1;      3) 2;      4) 3;      5) мало данных.

6.5.6. Сколько корней с отрицательной вещественной частью имеет характеристическое уравнение системы  $n$ -го порядка, если значение параметра  $\lambda$  выбрано из области  $D_1$  (рис. 6.52), а  $D_2$  – область устойчивости?

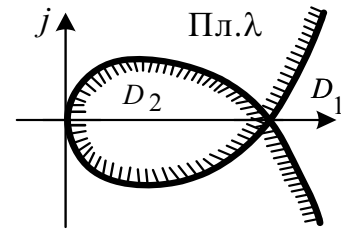


Рис. 6.52

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2) 2;      3)  $n$ ;      4)  $n-1$ ;      5)  $n-2$ .

6.5.7. Устойчива ли будет система  $n$ -го порядка, если значение её параметра  $\lambda$  выбрать из области  $D_3$  его Д-разбиения (рис. 6.53)?

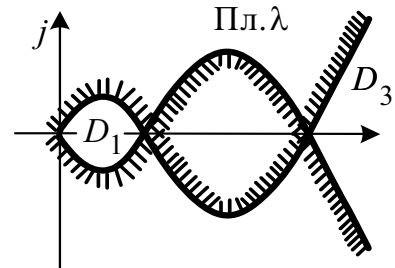


Рис. 6.53

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;      2) неустойчива;      3) мало данных.

6.5.8. Какая из областей Д-разбиения в плоскости параметра  $K$  (рис. 6.54) является областью устойчивости системы с характеристическим уравнением

$$(s+1)(s+2)^2 + \lambda = 0?$$

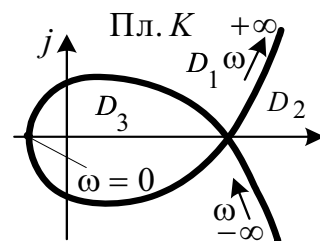


Рис. 6.54

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $D_1$ ;      4) ни одна из указанных;  
 2)  $D_2$ ;      5) мало данных.  
 3)  $D_3$ ;

6.5.9. Какая (или какие) из приведенных на рис. 6.55 областей Д-разбиения в плоскости параметра  $\lambda$  является областью устойчивости системы с характеристическим уравнением

$$(\lambda s + 1)(2s + 1)^2 + 10 = 0?$$

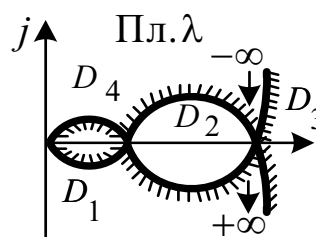


Рис. 6.55

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |            |                          |
|------------|--------------------------|
| 1) $D_1$ ; | 4) $D_1$ и $D_3$ ;       |
| 2) $D_2$ ; | 5) ни одна из указанных. |
| 3) $D_3$ ; |                          |

6.5.10. Какая из приведенных на рис. 6.56 областей Д-разбиения в плоскости параметра  $\lambda$  является областью устойчивости системы с характеристическим уравнением

$$s^2(s + 1) + \lambda = 0?$$

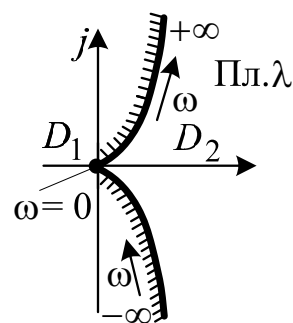


Рис. 6.56

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |            |                          |
|------------|--------------------------|
| 1) $D_1$ ; | 3) ни одна из указанных. |
| 2) $D_2$ ; |                          |

6.5.11. Правильно ли заштрихована на рис. 6.57 особая прямая Д-разбиения по параметрам  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ?

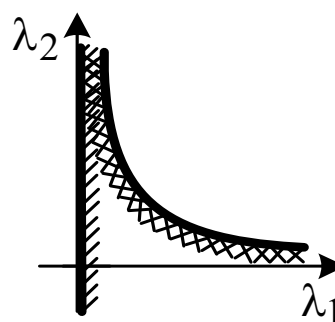


Рис. 6.57

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) правильно;
- 2) неправильно;
- 3) мало данных.

6.5.12. Правильно ли заштрихована особая прямая Д-разбиения по параметрам  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , указанная на рис. 6.58?

*Примечание:*  $\Delta$  – определитель системы уравнений, описывающих кривую Д-разбиения.

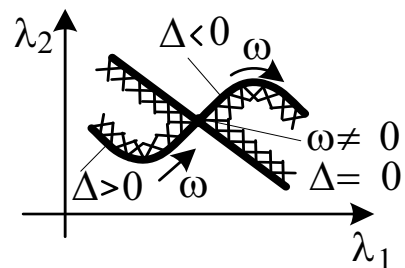


Рис. 6.58

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) правильно;                      2) неправильно;                      3) мало данных.

6.5.13. Правильно ли заштрихована особая прямая Д-разбиения по параметрам  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , указанная на рис. 6.59?

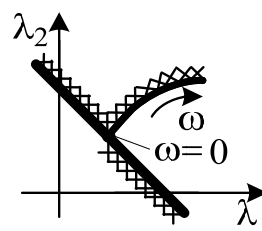


Рис. 6.59

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) правильно;                      2) неправильно;                      3) мало данных.

6.5.14. Как следует заштриховать на рис. 6.60 особую прямую Д-разбиения по параметрам  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ?

*Примечание:*  $\Delta$  – определитель системы уравнений, описывающих кривую Д-разбиения.

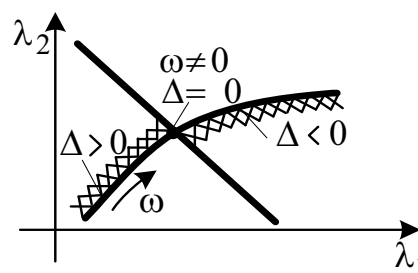
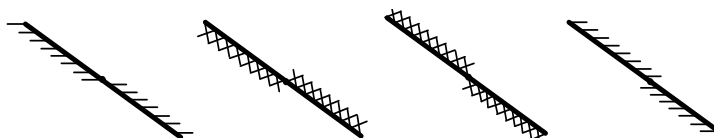


Рис. 6.60

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



- 1)                      2)                      3)                      4)                      5) мало данных.

6.5.15. Как следует заштриховать на рис. 6.61 особую прямую Д-разбиения по параметрам  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ?

Примечание:  $\Delta$  – определитель системы уравнений, описывающих кривую Д-разбиения.

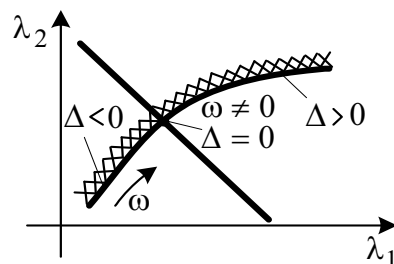
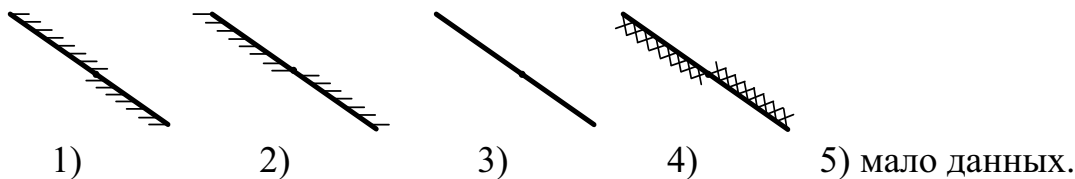


Рис. 6.61

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



6.5.16. Сколько корней с отрицательной вещественной частью имеет характеристическое уравнение системы третьего порядка, если значения параметров  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  этой системы выбраны из области  $D_1$  (рис. 6.62), и при этом  $D_2$  – область устойчивости?

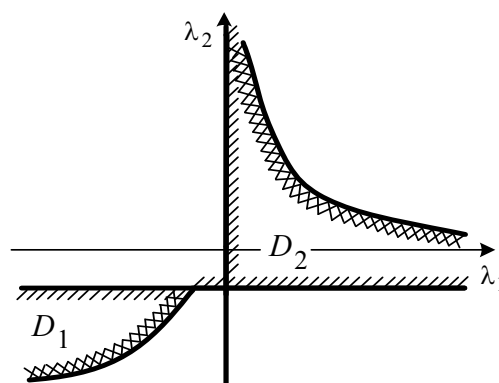


Рис. 6.62

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;    2) 1;    3) 2;    4) 3;    5) мало данных.

6.5.17. Какая из указанных на рис. 6.63 областей диаграммы Вышнеградского, построенной для характеристического уравнения

$$s^3 + As^2 + Bs + 1 = 0$$

является областью неустойчивости?

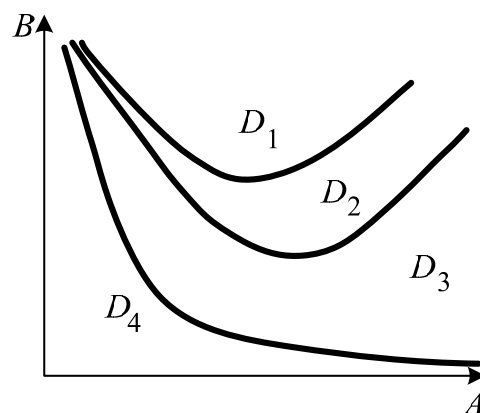


Рис. 6.63

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $D_1$ ;    2)  $D_2$ ;    3)  $D_3$ ;    4)  $D_4$ ;    5) мало данных.



## ГЛАВА 7

### УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ В ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 7.1. Установившиеся режимы при постоянных по величине внешних воздействиях

7.1.1. Чему равен статический коэффициент передачи системы (рис. 7.1).

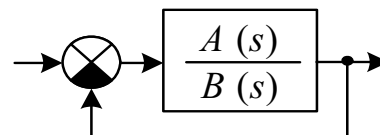


Рис. 7.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |                               |                               |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| 1) $\frac{A(\infty)}{B(\infty)}$ ;           | 3) $\frac{A(0)}{B(0)}$ ;      | 5) $\frac{A(0)}{A(0)+B(0)}$ . |
| 2) $\frac{A(\infty)}{A(\infty)+B(\infty)}$ ; | 4) $\frac{A(s)}{A(s)+B(s)}$ ; |                               |

7.1.2. Определите статический коэффициент передачи между сигналами  $g$  и  $y$  в системе (рис. 7.2).

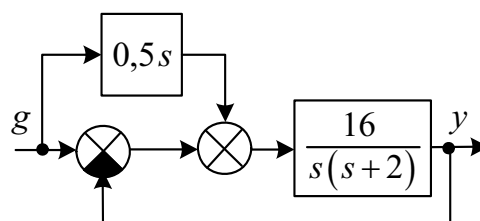


Рис. 7.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |        |         |       |        |
|-------|--------|---------|-------|--------|
| 1) 8; | 2) 24; | 3) 8/9; | 4) 1; | 5) 16. |
|-------|--------|---------|-------|--------|

7.1.3. Каково условие астатизма системы (рис. 7.3) относительно входного воздействия?

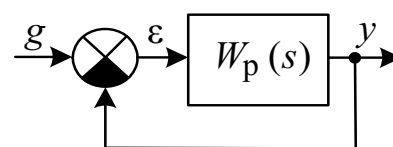
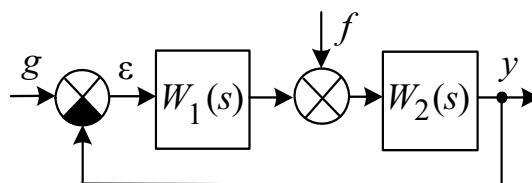


Рис. 7.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |                   |                               |
|---|-------------------|-------------------------------|
| 1) $W_p(0) = 0$ ;                                   | 3) $W_p(0) = 1$ ; | 4) $\frac{1}{1+W_p(0)} = 1$ ; |
| 2) $W_p(0) = \infty$ или $\frac{1}{1+W_p(0)} = 0$ ; |                   | 5) мало данных.               |

7.1.4. Каково условие астатизма системы автоматического управления (рис. 7.4) относительно входного воздействия  $f(t)$ ?

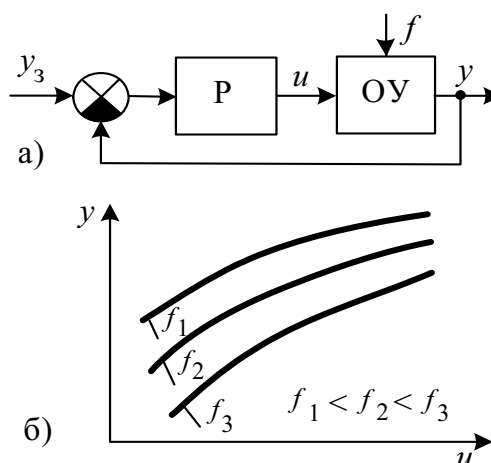


ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

Рис. 7.4

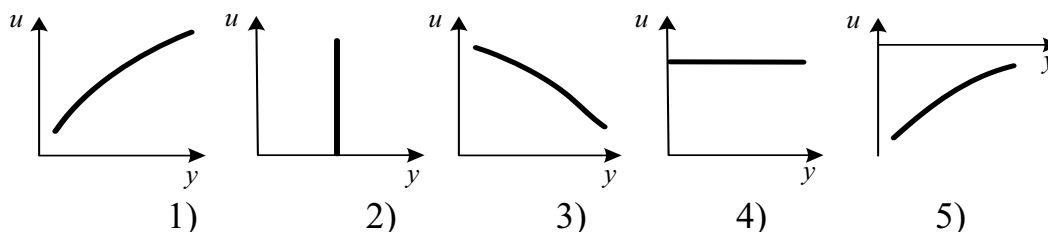
- 1)  $W_1(0) \cdot W_2(0) = 0$ ;      3)  $W_2(0) = 0$ ;      5)  $W_2(0) = \infty$ .  
 2)  $W_{\varepsilon f}(0) = 0$ ;      4)  $W_{\varepsilon f}(0) = 1$ ;

7.1.5. Какой должна быть статическая характеристика  $u(y)$  регулятора P в статической по возмущению  $f$  САР (рис. 7.5,а), если регулировочная характеристика объекта управления ОУ имеет представленный на рис. 7.5,б вид?



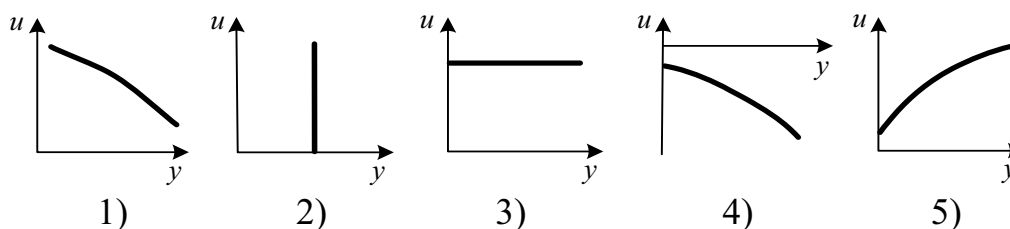
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

Рис. 7.5



7.1.6. Какой должна быть статическая характеристика  $u(y)$  регулятора P в астатической по возмущению  $f$  системе автоматической стабилизации (рис. 7.5,а), если регулировочная характеристика  $y(u)$  объекта регулирования ОУ имеет представленный на рис. 7.5,б вид?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



7.1.7. Чему равен статизм системы регулирования, если зависимость регулируемой величины  $x$  от возмущения  $f$  в статическом режиме имеет приведенный на рис. 7.15 вид?

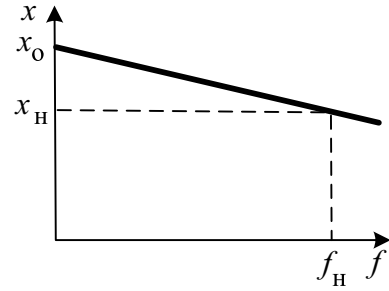


Рис. 7.15

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{x_0 - x_H}{f_H}$ ; 2)  $\frac{f_H}{x_0 - x_H}$ ; 3)  $\frac{x_0 - x_H}{x_H}$ ; 4)  $\frac{x_0 - x_H}{x_0}$ ; 5) мало данных.

7.1.8. Чему равен статизм (в процентах) генератора постоянного тока при токе  $I = 15 \text{ A}$ , если наклон его внешней характеристики (рис. 7.16)  $U(I)$  равен  $-1 \text{ B/A}$ ?

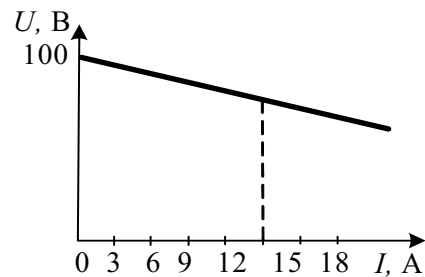


Рис. 7.16

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1 %; 2) 1,5 %; 3) 10 %; 4) 15 %; 5) 22,5 %.

7.1.9. Какова связь в системе автоматического регулирования между статизмом замкнутой системы  $\Delta_c$  с единичной отрицательной обратной связью, статическим коэффициентом передачи  $K$  прямой цепи и статизмом объекта регулирования  $\Delta_o$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\Delta_o = \frac{\Delta_c}{1 + K}$ ; 3)  $\Delta_c = \frac{\Delta_o}{1 + K}$ ; 5)  $\Delta_c = 1 + K \cdot \Delta_o$ .  
 2)  $\Delta_c = \frac{\Delta_o}{K}$ ; 4)  $\Delta_c = 1 + \frac{\Delta_o}{K}$ ;

7.1.10. Чему равна статическая ошибка САР с единичной отрицательной обратной связью при  $f = f_H$  и коэффициентом усиления прямой цепи  $K = 19$ , если статическая характеристика объекта регулирования имеет приведенный на рис. 7.17 вид?

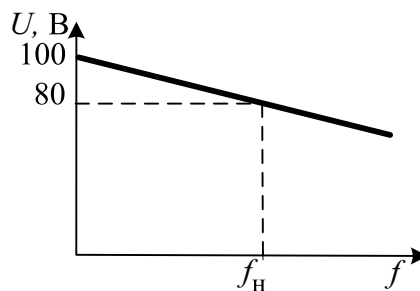


Рис. 7.17

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1,9;      2) 0,2;      3) 0,19;      4) 2;      5) 1.

7.1.11. Определите порядки астатизма  $v_g$  и  $v_f$  системы (рис. 7.6) относительно задающего воздействия  $g(t)$  и возмущения  $f(t)$ .

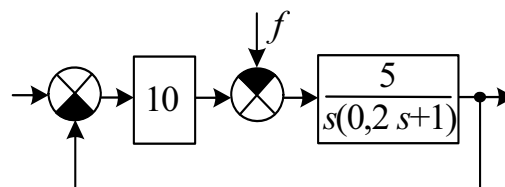


Рис. 7.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $v_g = 0, v_f = 0$ ;      4)  $v_g = 1, v_f = 1$ ;  
 2)  $v_g = 1, v_f = 0$ ;  
 3)  $v_g = 0, v_f = 1$ ;  
 5) мало данных.

7.1.12. Определите порядки астатизма  $v_g$  и  $v_f$  системы (рис. 7.7) относительно задающего воздействия  $g(t)$  и возмущения  $f(t)$ .

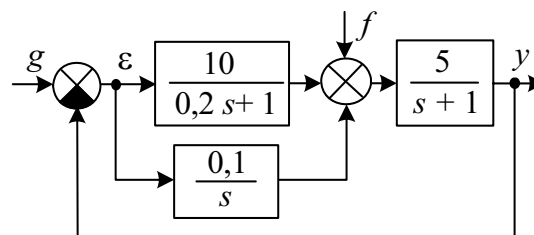


Рис. 7.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $v_g = 0, v_f = 0$ ;      4)  $v_g = 1, v_f = 1$ ;  
 2)  $v_g = 1, v_f = 0$ ;  
 3)  $v_g = 0, v_f = 1$ ;  
 5) мало данных.

7.1.13. Определите порядки астатизма  $\nu_g$  и  $\nu_f$  системы (рис. 7.8) относительно задающего воздействия  $g(t)$  и возмущения  $f(t)$ .

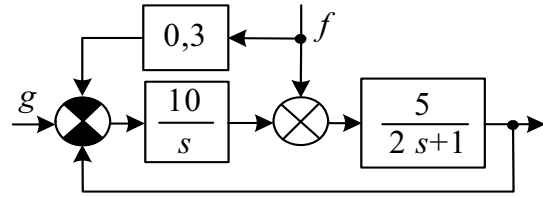


Рис. 7.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| 1) $\nu_g = 0, \nu_f = 0;$ | 4) $\nu_g = 1, \nu_f = 1;$ |
| 2) $\nu_g = 1, \nu_f = 0;$ | 5) мало данных.            |
| 3) $\nu_g = 0, \nu_f = 1;$ |                            |

7.1.14. Определите порядки астатизма  $\nu_g$  и  $\nu_f$  системы, в которой звенья операторно-структурной схемы имеют указанные на рис. 7.9 переходные функции  $h(t)$ .

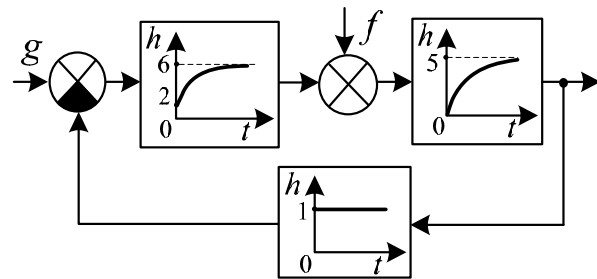


Рис. 7.9

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| 1) $\nu_g = 0, \nu_f = 0;$ | 4) $\nu_g = 1, \nu_f = 1;$ |
| 2) $\nu_g = 1, \nu_f = 0;$ | 5) мало данных.            |
| 3) $\nu_g = 0, \nu_f = 1;$ |                            |

7.1.15. Определите порядки астатизма  $\nu_g$  и  $\nu_f$  относительно управления  $g(t)$  и возмущения  $f(t)$  в системе, описываемой моделью «вход-состояние-выход»:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -25 & -0,5 & -1,5 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 25 \end{bmatrix} g(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,5 \end{bmatrix} f(t);$$

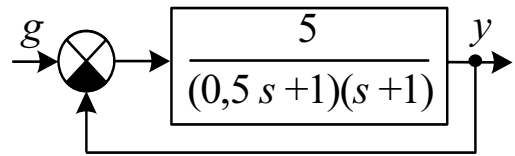
$$y(t) = [1 \ 0 \ 0] \cdot x_g(t) + [5 \ 5 \ 0] \cdot x_f(t).$$

Здесь  $x_g(t)$  и  $x_f(t)$ , соответственно реакции системы на управление  $g(t)$  и возмущение  $f(t)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                            |                            |                 |
|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| 1) $\nu_g = 0, \nu_f = 0;$ | 3) $\nu_g = 0, \nu_f = 1;$ | 5) мало данных. |
| 2) $\nu_g = 1, \nu_f = 0;$ | 4) $\nu_g = 1, \nu_f = 1;$ |                 |

7.1.16. Чему равен выходной сигнал системы (рис. 7.13) в установившемся режиме при  $g(t) = 6 \cdot 1(t)$ ?



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

Рис. 7.13

- 1) 5;            2) 30;            3) 5/6;            4) 6;            5) 6/5.

7.1.17. Определите уравнение статического режима системы, представленной на рис. 7.10, относительно выходной величины  $y$  при постоянных входных сигналах  $g = g_0$  и  $f = f_0$ .

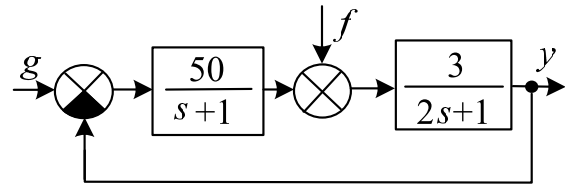


Рис. 7.10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $y = g_0 + 3f_0$ ;            4)  $y = \frac{150}{151}g_0 + \frac{3}{151}f_0$ ;  
 2)  $y = 150g_0 + 3f_0$ ;            5)  $y = \frac{1}{151}g_0 - \frac{3}{151}f_0$ .  
 3)  $y = \frac{1}{150}g_0 + \frac{3}{151}f_0$ ;

7.1.18. Каково уравнение статического режима системы (рис. 7.11) относительно ошибки  $\varepsilon$  при постоянных входных сигналах  $g = g_0$  и  $f = f_0$ ?

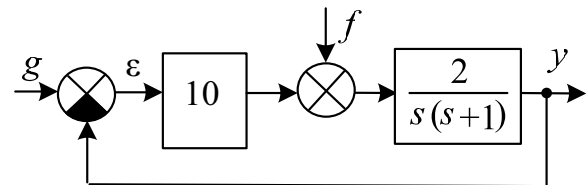


Рис. 7.11

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\varepsilon = 0,05g_0 + 0,1f_0$ ;            3)  $\varepsilon = -0,1g_0$ ;            5)  $\varepsilon = -0,1f_0$ .  
 2)  $\varepsilon = 0,1g_0 + 0,05f_0$ ;            4)  $\varepsilon = 0$ ;

7.1.19. Как изменится статическая ошибка системы (рис. 7.12) при увеличении статического коэффициента усиления  $K$ , если  $g \equiv 0$  и  $f = 1(t)$ ?

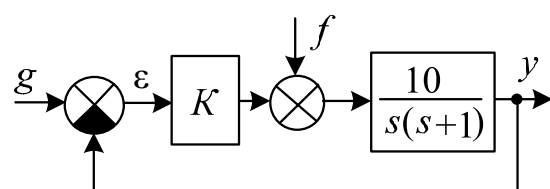


Рис. 7.12

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) увеличится;            2) уменьшится;            3) не изменится.

7.1.20. Найдите установившееся значение сигнала  $\varepsilon$  в представленной на рис. 7.14 системе при  $g(t) = 1(t)$ .

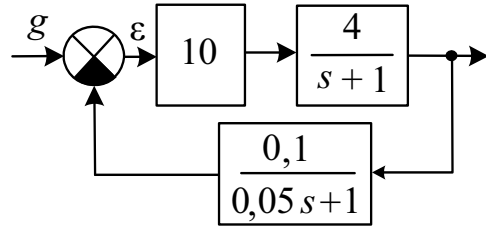


Рис. 7.14

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,02;      2) 0,1;      3) 0,2;      4) 0,01;      5) 8.

7.1.21. Чему равно установившееся значение ошибки  $\varepsilon$  в системе (рис. 7.18), если  $g(t) = 2 \cdot 1(t)$ ?

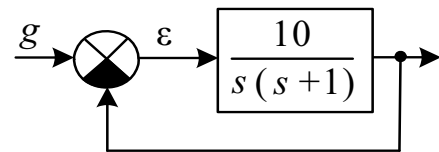


Рис. 7.18

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,2;      2) 1;      3) 2/11;      4) 0;      5) 20/11.

7.1.22. Чему равна абсолютная ошибка регулирования у системы (рис. 7.19) при  $g(t) \equiv 0$  и  $f(t) = 1(t)$ ?

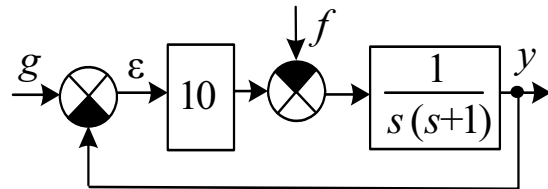


Рис. 7.19

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,1;      2) 0;      3) 1;      4) 0,2;      5) 1/11.

7.1.23. Повысится ли статическая точность системы (рис. 7.20) при увеличении коэффициента усиления  $K$  в пределах допустимого по условию устойчивости?

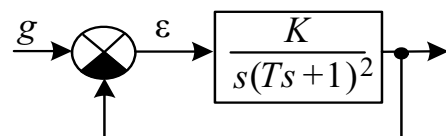


Рис. 7.20

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) повысится;      3) не изменится;  
2) понизится;      4) мало данных.

- 7.1.24. Как изменится абсолютная статическая ошибка системы, схема которой представлена на рис. 7.21, при увеличении коэффициента усиления  $K$ , если при этом  $g(t) \equiv 5 \cdot 1(t)$  и  $f(t) = 1(t)$ ?

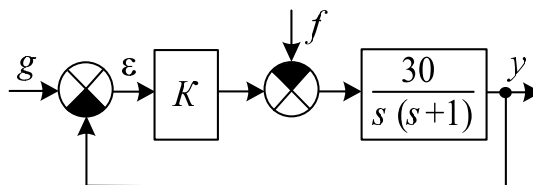


Рис. 7.21

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) увеличится;                      2) уменьшится;                      3) не изменится.

- 7.1.25. Определите установившееся значение ошибки регулирования  $\varepsilon = g - y$  в системе (рис. 7.22) при  $g(t) = 10 \cdot 1(t)$  и  $f(t) = 0,2 \cdot 1(t)$ .

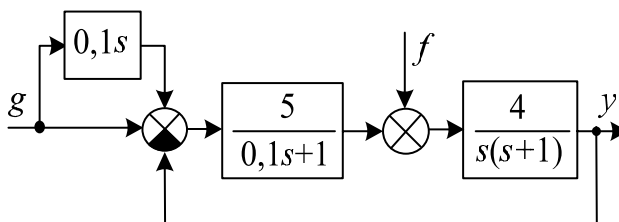


Рис. 7.22

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;                                      4) 0,04;  
2) 10;                                    5) установившегося значения  $y(t)$  не будет.  
3) 10,04;

- 7.1.26. Определите статическую ошибку  $\varepsilon$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 7.23, при  $g = 200 \cdot 1(t)$  и  $f = 4 \cdot 1(t)$ .

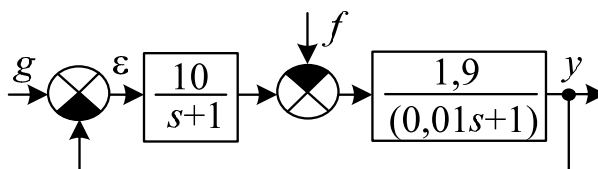


Рис. 7.23

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 10;            2) 1,95;            3) - 0,05;            4) - 0,95;            5) 10,38.

- 7.1.27. Определите абсолютную статическую ошибку  $\varepsilon$  системы (рис. 7.24) при входных воздействиях  $g(t) = 100 \cdot 1(t)$ ,  $f_1(t) = 2 \cdot 1(t)$ ,  $f_2(t) = 3 \cdot 1(t)$ .

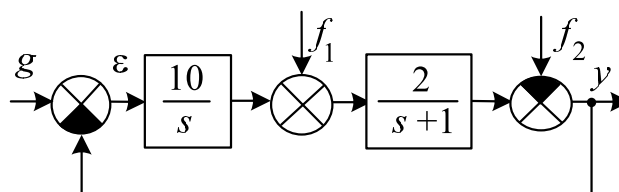


Рис. 7.24

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1,5;            2) 0,5;            3) 3;            4) 0;            5) 0,1.



7.1.28. Определите абсолютную статическую ошибку  $\varepsilon = g - y$  системы (рис. 7.25) при  $g(t) = 1(t)$  и  $f(t) = 0,1 \cdot 1(t)$ .

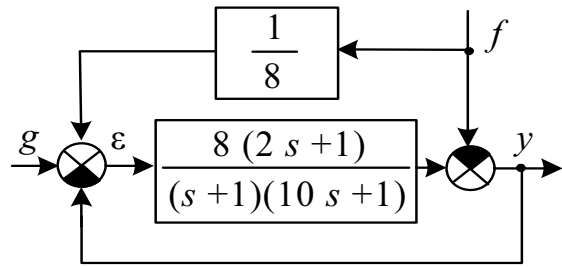


Рис. 7.25

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2) 1/8;      3) 1/9;      4) 8;      5) 9.

7.1.29. Определите установившееся значение  $y(t)$  в системе, в операторно-структурной схеме которой звенья имеют указанные на рис. 7.26 переходные функции  $h(t)$  при  $g(t) = 2 \cdot 1(t)$ .

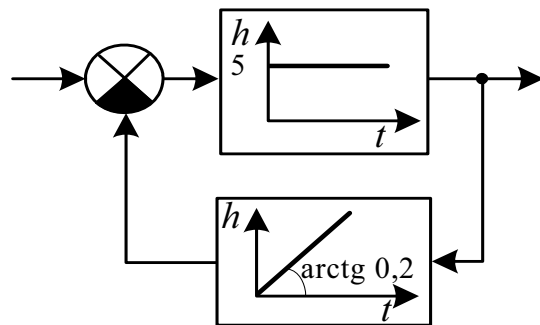


Рис. 7.26

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2) 1;      3) 2;      4) 10;      5) установившегося значения  $y(t)$  не будет.

7.1.30. Определите статический коэффициент  $K$  передачи системы, описываемой моделью «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -2 & -0,5 & 0 \\ 2 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \\ 0 \end{bmatrix} u(t); \quad y(t) = [0 \quad 0 \quad 1] x(t).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K = 1$ ;      2)  $K = 2$ ;      3)  $K = 5$ ;      4)  $K = 10$ ;      5) мало данных.

7.1.31. Определите матрицу статических коэффициентов передачи системы, описываемой моделью «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} u(t); \quad y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(t).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K = \begin{bmatrix} 3 & 4 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}$ ;      2)  $K = \begin{bmatrix} 4 & 3 \\ 4 & 2 \end{bmatrix}$ ;      3)  $K = \begin{bmatrix} -4 & -3 \\ -4 & -2 \end{bmatrix}$ ;      4)  $K = \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 4 & 4 \end{bmatrix}$ .

**7.1.32.** Определите установившееся значение выхода системы  $y$ , описываемой моделью «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} u(t); \quad y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(t),$$

при условии, что  $u(t) = [5 \ 3]^T \cdot 1(t)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) y = \begin{bmatrix} 5 \\ 3 \end{bmatrix}; \quad 2) y = [5 \ 3]; \quad 3) y = \begin{bmatrix} 20 \\ 6 \end{bmatrix}; \quad 4) y = [20 \ 6]; \quad 5) y = \begin{bmatrix} 29 \\ 26 \end{bmatrix}.$$

**7.1.33.** Определите установившееся значение вектора состояния  $x$  системы, описываемой моделью «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} u(t); \quad y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x(t),$$

при условии, что  $u(t) = [5 \ 3]^T \cdot 1(t)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) x = \begin{bmatrix} -58 \\ 52 \\ -52 \end{bmatrix}; \quad 2) x = \begin{bmatrix} 12 \\ 6 \\ -28 \end{bmatrix}; \quad 3) x = \begin{bmatrix} 29 \\ -26 \\ 26 \end{bmatrix}; \quad 4) x = \begin{bmatrix} 20 \\ 0 \\ 6 \end{bmatrix}.$$

**7.1.34.** Определите установившееся значение вектора состояния  $x$  и выхода  $y$  системы, описываемой моделью «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -25 & -0,5 & -1,5 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 25 \end{bmatrix} g(t); \quad y(t) = [1 \ 0 \ 0] \cdot x,$$

при условии, что  $g(t) = 4 \cdot 1(t)$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) x = [4 \ 0 \ 0]^T, \quad y = 4; \quad 3) x = [0 \ 0 \ 4]^T, \quad y = 100;$$

$$2) x = [0 \ 0 \ 4]^T, \quad y = 4; \quad 4) x = [100 \ 2 \ 6]^T, \quad y = 100.$$

## 7.2. Установившиеся режимы при гармонических воздействиях

- 7.2.1.** Определите выходной сигнал системы (рис. 7.27) в установившемся режиме при  $g(t) = 2 \sin 3t$ .

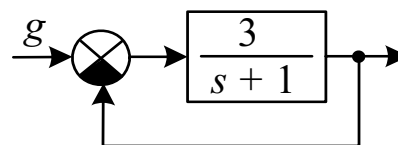


Рис. 7.27

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1) $1,5 \sin 3t$ ;                             | 4) $1,2 \sin(3t - \arctg 0,75)$ ; |
| 2) $\frac{6}{\sqrt{10}} \sin(3t + \arctg 3)$ ; | 5) $1,2 \sin(3t + \arctg 0,75)$ . |
| 3) $\frac{6}{\sqrt{10}} \sin(3t - \arctg 3)$ ; |                                   |

- 7.2.2.** Определите амплитуду  $\varepsilon_m$  в установившемся режиме в системе (рис. 7.28), если  $g(t) = 5 \sin 3t$ .

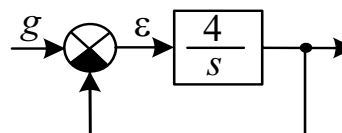


Рис. 7.28

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |       |       |         |       |
|-------|-------|-------|---------|-------|
| 1) 2; | 2) 4; | 3) 3; | 4) 4/3; | 5) 0. |
|-------|-------|-------|---------|-------|

- 7.2.3.** Определите амплитуду  $\varepsilon_m$  ошибки системы (рис. 7.29) в установившемся режиме, если при этом  $g(t) = \sqrt{5} \sin t$ .

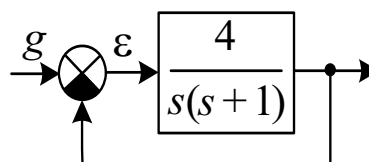


Рис. 7.29

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |       |       |         |         |
|-------|-------|-------|---------|---------|
| 1) 1; | 2) 0; | 3) 5; | 4) 0,2; | 5) 1,6. |
|-------|-------|-------|---------|---------|

- 7.2.4.** Определите амплитуду  $\varepsilon_m$  установившейся ошибки системы (рис. 7.30), если  $f(t) = 2 \sin 3t$ .

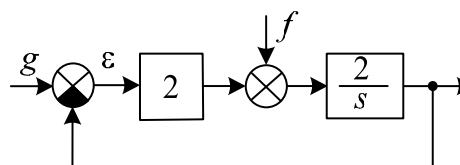


Рис. 7.30

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |         |       |         |         |         |
|---------|-------|---------|---------|---------|
| 1) 0,6; | 2) 1; | 3) 1,2; | 4) 0,8; | 5) 0,4. |
|---------|-------|---------|---------|---------|

- 7.2.5. Определите фазовый сдвиг сигнала  $\varepsilon(t)$  системы (рис. 7.31) в установившемся режиме, если  $g(t) = 5 \sin t$ .

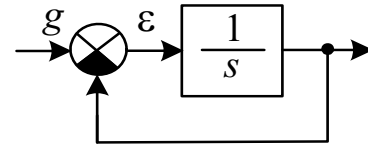


Рис. 7.31

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $-90^0$ ;    2)  $90^0$ ;    3)  $-45^0$ ;    4)  $45^0$ ;    5)  $60^0$ .

- 7.2.6. Определите амплитуду  $\varepsilon_m$  установившейся ошибки системы (рис. 7.32), если  $g(t) = 3 \sin 2t$ .

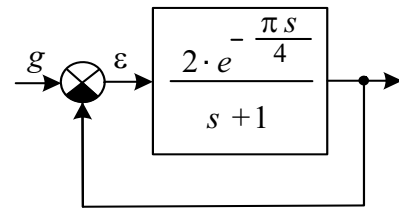


Рис. 7.32

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 5;    2)  $3\sqrt{5}$ ;    3) 6;    4)  $3\sqrt{5}/13$ ;    5) 3.

- 7.2.7. Определите амплитуду  $\varepsilon_m$  установившейся ошибки системы (рис. 7.33), если  $g(t) = 0$  и  $f(t) = \sin 2t$ .

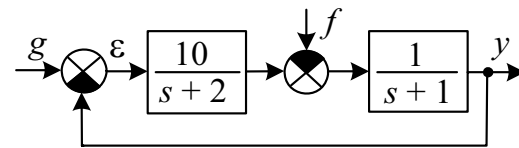


Рис. 7.33

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $2/5$ ;    2)  $\sqrt{8}$ ;    3) 0,4;    4)  $\sqrt{2}/5$ ;    5) 0.

- 7.2.8. Определите значение  $\varepsilon(t)$  в системе (рис. 7.34) в установившемся режиме при  $g(t) = 5 \sin 10t$  и  $f(t) = 2 \cdot 1(t)$ .

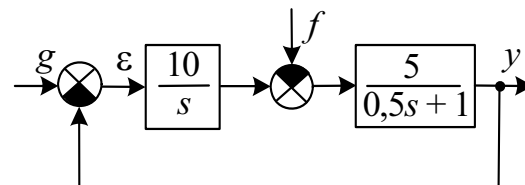


Рис. 7.34

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;    2) 10,04;    3)  $5 \sin 10t$ ;    4)  $5\sqrt{26} \sin(10t + \text{arctg } 5)$ ;    5)  $5/6$ .

**7.2.9.** Определите установившееся значение  $y(t)$  в системе, звенья операторно-структурной схемы в которой имеют указанные на рис. 7.35 переходные функции  $h(t)$ , если  $g(t) = 10 \sin 4t$ .

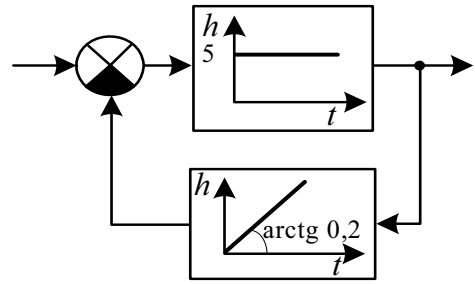


Рис. 7.35

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;
- 2) 5;
- 3)  $50 \sin 4t$ ;
- 4)  $\frac{200}{\sqrt{17}} \sin\left(4t + \frac{\pi}{2} - \arctg 4\right)$ ;
- 5) установившегося значения  $y(t)$  не будет.

**7.2.10.** Определите установившееся значение амплитуды  $\varepsilon_m$  ошибки в САР с единичной отрицательной обратной связью при воспроизведении задающего воздействия  $g(t) = 10 \sin 5t$ , если её амплитудно-фазовый годограф в разомкнутом состоянии имеет вид, представленный на рис. 7.36.

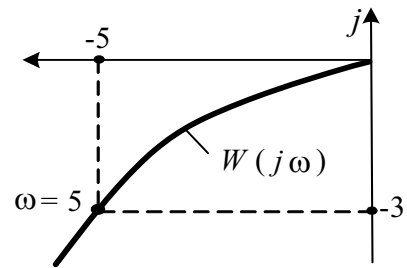


Рис. 7.36

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 2/34;
- 2) 17/3;
- 3) 10/34;
- 4) 3,4;
- 5) 2.

**7.2.11.** Определите установившееся значение амплитуды выходного сигнала в системе с единичной отрицательной обратной связью при воспроизведении задающего воздействия  $g(t) = 8 \sin 2t$ , если её амплитудно-фазовый годограф в разомкнутом состоянии имеет вид, представленный на рис. 7.37.

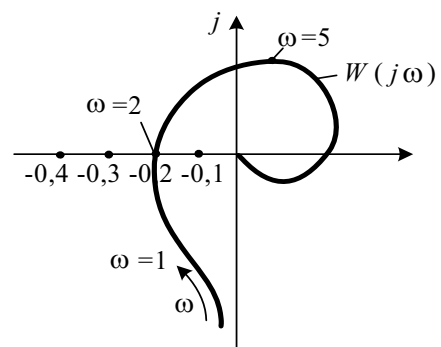


Рис. 7.37

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 4;
- 4) 8;
- 5) 3.

7.2.12. Дан амплитудно-фазовый годограф системы с единичной ООС в разомкнутом состоянии (рис. 7.38). Определите установившееся значение фазовой ошибки  $\varphi_\varepsilon$  системы при воспроизведении задающего воздействия  $g(t) = 2 \sin 10t$ .

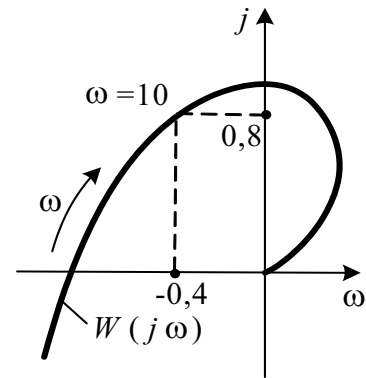


Рис. 7.38

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $-\pi/2 - \arctg 4/3$ ;                      3)  $\arctg 2$ ;                      5)  $-\arctg 4/3$ .  
 2)  $\pi/2 + \arctg 4/3$ ;                      4)  $-\arctg 2$ ;

7.2.13. Определите амплитуду ошибки регулирования в САР с единичной отрицательной обратной связью при воспроизведении задающего воздействия  $g(t) = 2 \sin 10t$ , если её амплитудно-фазовый годограф в разомкнутом состоянии имеет вид, приведенный на рис. 7.38.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;            2) 2;            3)  $2\sqrt{0,8}$ ;            4) 10;            5) мало данных.

7.2.14. ЛАЧХ системы с единичной ООС в разомкнутом состоянии имеет указанный на рис. 7.39 вид. Определите приближенно установившееся значение амплитуды  $\varepsilon_m$  ошибки системы при воспроизведении задающего воздействия  $g(t) = \sin 100t$ .

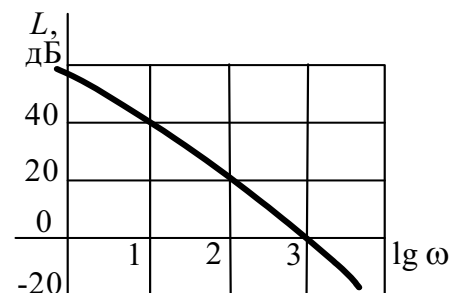


Рис. 7.39

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,1;            2) 10;            3) 0,05;            4) 20;            5) 1.

### 7.3. Ряд ошибок и его использование для оценки установившихся режимов

7.3.1. Определите значение второго коэффициента ряда ошибки у системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 7.40.

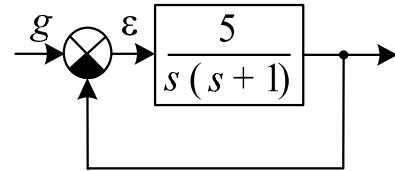


Рис. 7.40

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2) 0,16;      3) - 0,36;      4) 0,4;      5) 0,2 .

7.3.2. Определите значение второго коэффициента ошибки у системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 7.41.

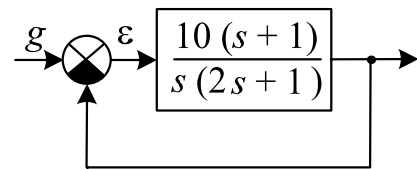


Рис. 7.41

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,09;      2) 0;      3) 0,119;      4) 1/11;      5) 0,1.

7.3.3. Определите значение первых двух коэффициентов ряда ошибки у системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 7.42.

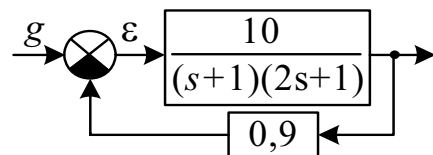


Рис. 7.42

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $C_0 = 0, C_1 = 0$ ;      3)  $C_0 = 0,1, C_1 = 0,27$ ;      4)  $C_0 = 0, C_1 = 0,09$ ;  
 2)  $C_0 = 1/1,9, C_1 = 2,7/(1,9)^2$ ;      5)  $C_0 = 0, C_1 = 0,3$ .

7.3.4. Определите значения первых трех коэффициентов ряда ошибки у системы (рис. 7.43).

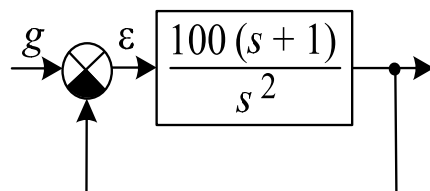


Рис. 7.43

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $C_0 = 0, C_1 = 0, C_2 = 0$ ;      4)  $C_0 = 0, C_1 = 0, C_2 = 0,01$ ;  
 2)  $C_0 = 0, C_1 = 0,01, C_2 = -0,01$ ;      5)  $C_0 = 0, C_1 = 0, C_2 = 0,99$ .  
 3)  $C_0 = 0,01, C_1 = -0,01, C_2 = 0,0099$ ;

7.3.5. Определите значения первых трех коэффициентов ошибки у системы (рис. 7.44).

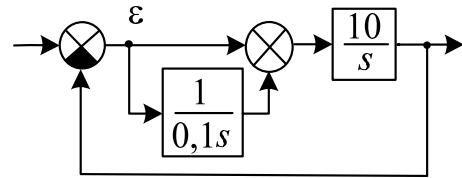


Рис. 7.44

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1) $C_0 = 0, C_1 = 0, C_2 = 1;$        | 4) $C_0 = 0, C_1 = 0,1, C_2 = 1;$  |
| 2) $C_0 = 1, C_1 = -0,1, C_2 = -0,99;$ | 5) $C_0 = 0, C_1 = 1, C_2 = -0,1.$ |
| 3) $C_0 = 0, C_1 = 0, C_2 = 0,01;$     |                                    |

7.3.6. Определите ошибку  $\varepsilon(t)$  в системе (рис. 7.45) в установившемся режиме при  $g(t) = 10 + 2t^2$ .

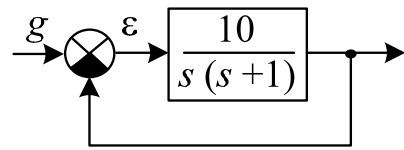


Рис. 7.45

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |            |                   |            |         |
|-----------------|------------|-------------------|------------|---------|
| 1) $1 + 0,36t;$ | 2) $0,2t;$ | 3) $0,36 + 0,4t;$ | 4) $0,36;$ | 5) $0.$ |
|-----------------|------------|-------------------|------------|---------|

7.3.7. Чему равно установившееся значение ошибки следящей системы (рис. 7.46) при управляющем воздействии  $g(t) = 1,5t$ ?

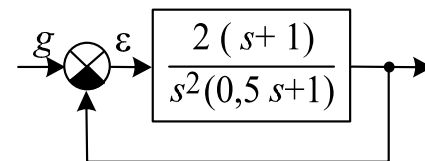


Рис. 7.46

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |            |           |         |           |            |
|------------|-----------|---------|-----------|------------|
| 1) $0,75;$ | 2) $0,3;$ | 3) $0;$ | 4) $0,4;$ | 5) $0,15.$ |
|------------|-----------|---------|-----------|------------|

7.3.8. Чему равно установившееся значение ошибки САУ с единичной отрицательной обратной связью, если ЛАЧХ ее в разомкнутом состоянии имеет приведенный на рис. 7.47 вид и  $g(t) = 2t$ ?

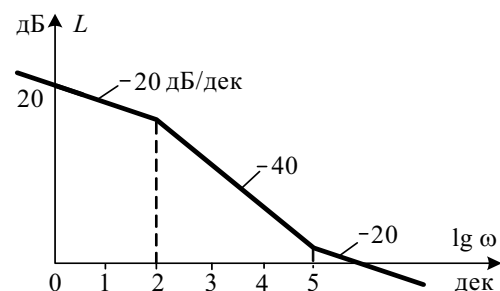


Рис. 7.47

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |         |           |         |          |           |
|---------|-----------|---------|----------|-----------|
| 1) $0;$ | 2) $0,5;$ | 3) $2;$ | 4) $20;$ | 5) $0,2.$ |
|---------|-----------|---------|----------|-----------|



7.3.9. Задающее воздействие у системы (её операторно-структурная схема представлена на рис. 7.48)

$$g(t) = \sum_{m=0}^n \frac{A_m}{m!} \cdot t^m.$$

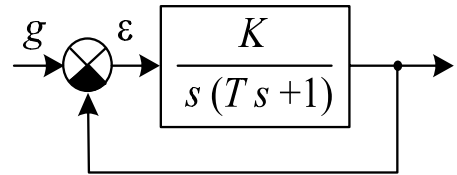


Рис. 7.48

Определите максимальное значение  $n$ , при котором установившаяся ошибка системы равна нулю.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;            2) 1;            3) 2;            4) 3;            5)  $\infty$ .

7.3.10. Задающее воздействие у системы

$$g(t) = \sum_{m=0}^n \frac{A_m}{m!} \cdot t^m.$$

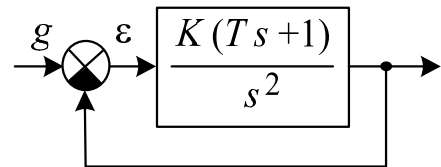


Рис. 7.49

Определите максимальное значение  $n$ , при котором установившаяся ошибка системы (рис. 7.49) равна нулю.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;            2) 1;            3) 2;            4) 3;            5)  $\infty$ .

7.3.11. Задающее воздействие в системе (рис. 7.50)

$$g(t) = \sum_{m=0}^n \frac{A_m}{m!} \cdot t^m.$$

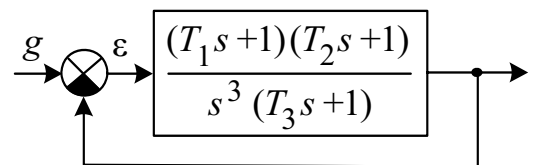


Рис. 7.50

Определите максимальное значение  $n$ , при котором установившаяся ошибка в этой системе будет равна нулю.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;            2) 1;            3) 2;            4) 3;            5)  $\infty$ .

**7.4. Методы повышения точности  
линейных непрерывных систем автоматического управления  
в установившихся режимах**

**7.4.1.** Во сколько раз нужно изменить коэффициент передачи  $K$  в системе (рис. 7.51), чтобы установившееся значение ошибки  $\varepsilon$  при  $g(t) = 2t$  и  $f(t) = 5 \cdot 1(t)$  уменьшилось в два раза?

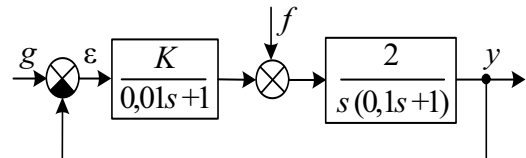


Рис. 7.51

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1) увеличить в 10 раз; | 4) уменьшить в 2 раза;                            |
| 2) увеличить в 2 раза; | 5) необходимо повысить порядок астатизма системы. |
| 3) уменьшить в 10 раз; |   |

**7.4.2.** Сколько должно быть введено в систему изоморфных звеньев ИЭ (рис. 7.52) для того, чтобы без ошибки воспроизводилось входное воздействие

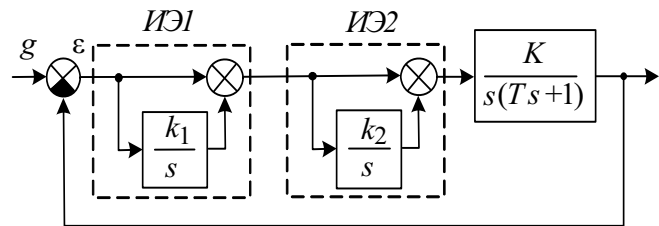


Рис. 7.52

$$g(t) = A_0 + A_1 t + \frac{A_2}{2} t^2 ?$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) 0;      2) 1;      3) 2;      4) 3;      5) 4.

**7.4.3.** Передаточная функция разомкнутой следящей системы (рис. 7.53) имеет вид

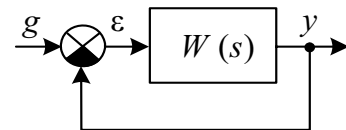


Рис. 7.53

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}.$$

Каковы условия получения астатизма первого порядка?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1)  $a_0 = 0, b_0 = 0$ ;      3)  $a_0 = 0, a_1, b_0 \neq 0$ ;      5)  $a_0 \neq 0, b_0 = 0$ .  
2)  $a_0 = a_1 = 0, b_0 \neq 0$ ;      4)  $a_0 = b_0, a_1 = b_1$ ;

7.4.4. Передаточная функция разомкнутой следящей системы (рис. 7.54)

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}.$$

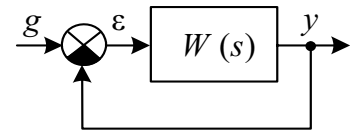


Рис. 7.54

Каковы условия получения астатизма второго порядка?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a_0 = 0, b_0 = 0, a_1 \neq 0, b_1 \neq 0;$
- 2)  $a_0 = 0, b_0 = b_1 = 0, a_1 \neq 0, b_2 \neq 0;$
- 3)  $a_0 = a_1 = 0, a_2 \neq 0, b_0 = 0, b_1 \neq 0.$
- 4)  $a_0 \neq 0, b_0 = b_1 = 0, b_2 \neq 0;$
- 5)  $a_0 = a_1 = 0, a_2 \neq 0, b_0 \neq 0;$

7.4.5. Передаточная функция замкнутой следящей системы имеет вид

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}.$$

Каковы условия получения астатизма первого порядка?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a_0 = b_0, a_1 = b_1;$
- 2)  $a_0 = 0, b_0 \neq 0;$
- 3)  $a_0 \neq 0, b_0 = b_1 = 0, b_2 \neq 0;$
- 4)  $a_0 = b_0, a_1 \neq b_1;$
- 5)  $a_0 \neq 0, b_0 = 0.$

7.4.6. Передаточная функция по ошибке замкнутой следящей системы имеет вид

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}.$$

Каковы условия получения астатизма первого порядка?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a_0 = b_0, a_1 \neq 0, b_1 \neq 0;$
- 2)  $a_0 \neq 0, b_0 = 0, b_1 \neq 0;$
- 3)  $a_0 = a_1 = 0, a_2 \neq 0, b_0 \neq 0;$
- 4)  $a_0 \neq 0, b_0 = b_1 = 0, b_2 \neq 0;$
- 5)  $a_0 = 0, a_1 \neq 0, b_0 = 0, b_1 \neq 0.$

7.4.7. Передаточная функция по ошибке замкнутой следящей системы (рис. 7.55) имеет вид

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}.$$

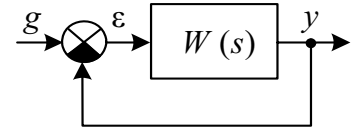


Рис. 7.55

Каковы условия получения астатизма второго порядка?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $a_0 = a_1 = 0, a_2 \neq 0, b_0 \neq 0;$ | 4) $a_0 = b_0, a_1 = b_1 \neq 0, a_2 \neq b_2;$ |
| 2) $a_0, b_2 \neq 0, b_0, b_1 = 0;$         | 5) $a_0 = 0, a_1 = b_0 \neq 0, b_1 \neq 0.$     |
| 3) $a_0 \neq 0, b_0 = b_1 \neq 0;$          |   |

7.4.8. Определите порядки астатизма системы (рис. 7.56) по управляющему воздействию  $g$  и по возмущению  $f$  (соответственно,  $\nu_g$  и  $\nu_f$ ).

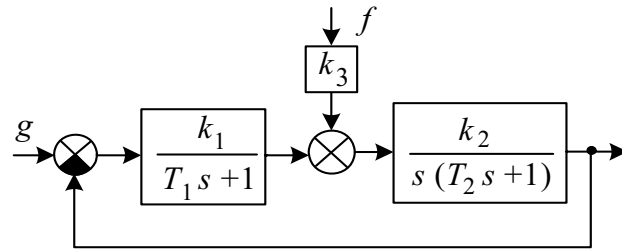


Рис. 7.56

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                            |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1) $\nu_g = 0, \nu_f = 0;$ | 3) $\nu_g = 1, \nu_f = 0;$ | 5) $\nu_g = 1, \nu_f = 1.$ |
| 2) $\nu_g = 0, \nu_f = 1;$ | 4) мало данных;            |                            |

7.4.9. Определите передаточную функцию  $W_\Phi(s)$  в системе (рис. 7.57), обеспечивающую инвариантность координаты  $y$  относительно возмущающего воздействия  $f$ .

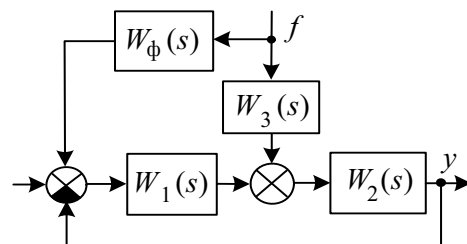


Рис. 7.57

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |   |  |
|--|---|--|
| 1) $W_\Phi(s) = \frac{W_3(s)}{W_1(s)};$  | 3) $W_\Phi(s) = \frac{W_2(s)}{W_1(s)};$       | 5) $W_\Phi(s) = -\frac{W_3(s)}{W_1(s)W_2(s)}.$ |
| 2) $W_\Phi(s) = -\frac{W_3(s)}{W_1(s)};$ | 4) $W_\Phi(s) = \frac{W_3(s)}{W_1(s)W_2(s)};$ |  |

**7.4.10.** Определите передаточную функцию  $W_k(s)$  компенсирующего звена, обеспечивающего инвариантность ошибки относительно возмущающего воздействия  $f$  в системе (рис. 7.58).

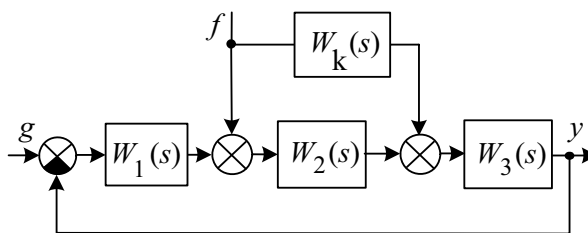


Рис. 7.58

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W_k(s) = -W_2(s)$ ;    3)  $W_k(s) = \frac{1}{W_1(s)}$ ;    5)  $W_k(s) = -\frac{1}{W_3(s)}$ .  
 2)  $W_k(s) = W_2(s)$ ;    4)  $W_k(s) = \frac{1}{W_2(s)}$ ;

**7.4.11.** Определите передаточную функцию  $W_\phi(s)$ , обеспечивающую инвариантность ошибки  $\varepsilon = g - y$  относительно управляющего воздействия в системе (рис. 7.59).

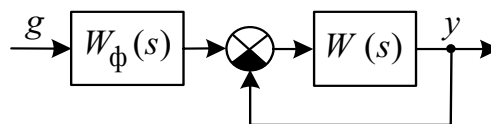


Рис. 7.59

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W_\phi(s) = \frac{W(s)-1}{W(s)}$ ;    3)  $W_\phi(s) = \frac{W(s)}{1+W(s)}$ ;    5)  $W_\phi(s) = \frac{W(s)+1}{W(s)}$ .  
 2)  $W_\phi(s) = \frac{1}{W(s)}$ ;    4)  $W_\phi(s) = \frac{W(s)}{1-W(s)}$ ;

**7.4.12.** Определите передаточную функцию  $W_\phi(s)$ , обеспечивающую инвариантность ошибки  $\varepsilon$  относительно управляющего воздействия  $g$  в системе (рис. 7.60).

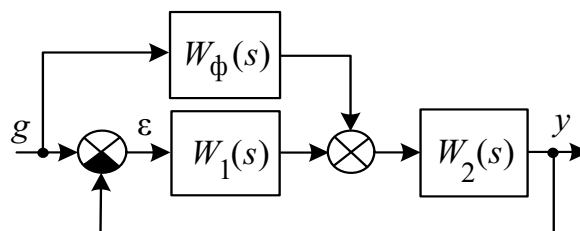


Рис. 7.60

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W_\phi(s) = -\frac{1}{W_2(s)}$ ;    3)  $W_\phi(s) = \frac{1}{W_1(s)}$ ;    5)  $W_\phi(s) = \frac{W_1(s)}{W_2(s)}$ .  
 2)  $W_\phi(s) = \frac{1}{W_2(s)}$ ;    4)  $W_\phi(s) = \frac{W_2(s)}{W_1(s)}$ ;

7.4.13. Определите передаточную функцию  $W_{oc}(s)$ , обеспечивающую инвариантность ошибки  $\varepsilon = g - y$  относительно управляющего воздействия  $g$  в системе (рис. 7.61).

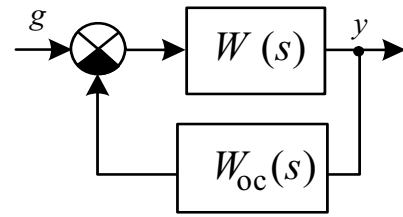


Рис. 7.61

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W_{oc}(s) = \frac{1+W(s)}{W(s)}$ ; 3)  $W_{oc}(s) = \frac{W(s)}{1-W(s)}$ ; 5)  $W_{oc}(s) = \frac{W(s)}{W(s)-1}$ .  
 2)  $W_{oc}(s) = \frac{1-W(s)}{W(s)}$ ; 4)  $W_{oc}(s) = \frac{W(s)-1}{W(s)}$ ;

7.4.14. Определите условия получения астатизма второго порядка для системы комбинированного управления (рис. 7.62).

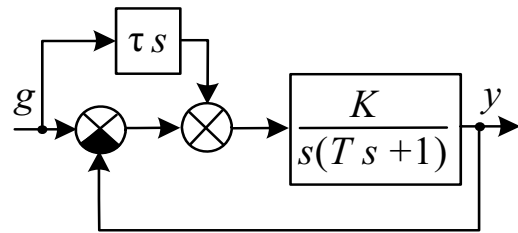


Рис. 7.62

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\tau = T$ ; 2)  $\tau = \frac{T}{K}$ ; 3)  $\tau = KT$ ; 4)  $\tau = \frac{1}{K}$ ; 5)  $\tau = \frac{T}{K^2}$ .

7.4.15. Для приведенной на рис. 7.63 системы определите условие получения астатизма второго порядка относительно возмущающего воздействия  $f(t)$ .

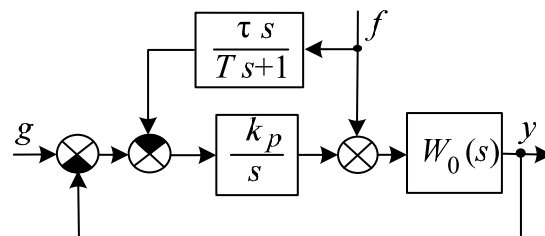


Рис. 7.63

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\tau = \frac{1}{k_p}$ ; 2)  $\tau^2 = T k_p$ ; 3)  $T = \frac{1}{k_p}$ ; 4)  $\tau T = \frac{1}{k_p^2}$ ; 5)  $\tau = T$ .

7.4.16. Для приведенной на рис. 7.64 системы определите условия получения астатизма второго порядка.

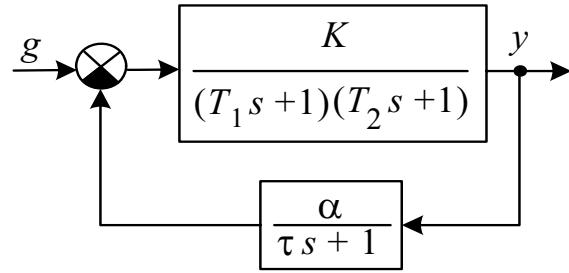


Рис. 7.64

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\alpha = \frac{K-1}{K}, \tau = \frac{T_1+T_2}{K-1};$

4)  $\alpha = \frac{1}{K}, \tau = T_1+T_2;$

2)  $\alpha = \frac{1-K}{K}, \tau = \frac{T_1+T_2}{1-K};$

5)  $\alpha = \frac{1}{K}, \tau = \frac{T_1+T_2}{K-1}.$

3)  $\alpha = \frac{K-1}{K}, \tau = \frac{T_1+T_2}{K};$

7.4.17. Определите условие получения астатизма второго порядка для приведенной на рис. 7.65 системы.

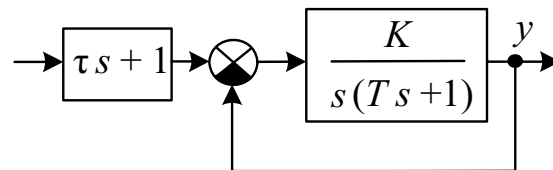


Рис. 7.65

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\tau = KT;$  2)  $\tau = \frac{T}{K^2};$  3)  $\tau = \sqrt{kT};$  4)  $\tau = T;$  5)  $\tau = \frac{1}{k}.$

7.4.18. Определите коэффициент передачи  $k_{oc}$  обратной связи в системе (рис. 7.66), при котором устраняется статическая ошибка, т.е.  $g = y$ .

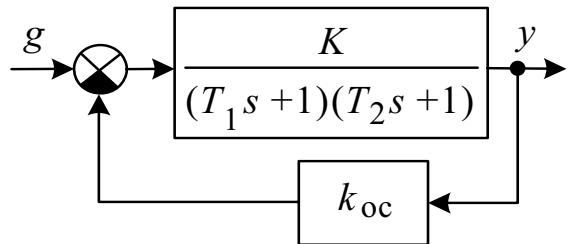


Рис. 7.66

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $k_{oc} = 1;$

3)  $k_{oc} = \frac{K}{1+K};$

5)  $k_{oc} = \frac{K-1}{K}.$

2)  $k_{oc} = \frac{1-K}{K};$

4)  $k_{oc} = \frac{1}{K};$

7.4.19. Определите коэффициент передачи  $k_M$  масштабирующего устройства, при котором в системе (рис. 7.67) достигается астатизм первого порядка относительно управляющего воздействия.

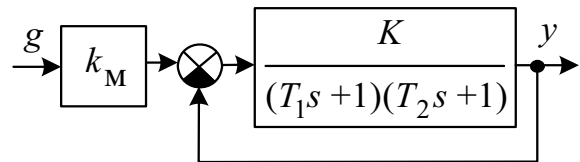


Рис. 7.67

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{1+K}{K}$ ;      2)  $\frac{K}{1+K}$ ;      3)  $K(1+K)$ ;      4)  $\frac{K-1}{K}$ ;      5)  $\frac{1}{K}$ .

7.4.20. Какой вид инвариантности достижим в САР, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 7.68?

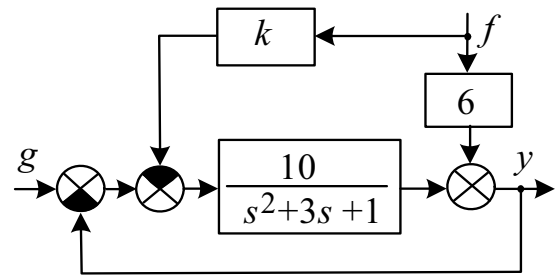


Рис. 7.68

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) инвариантность до  $\xi$ ;      3) полная инвариантность;  
2) частичная инвариантность;      4) абсолютная инвариантность.

7.4.21. Какой вид ковариантности  $y$  относительно  $g$  достигается в САР, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 7.69?

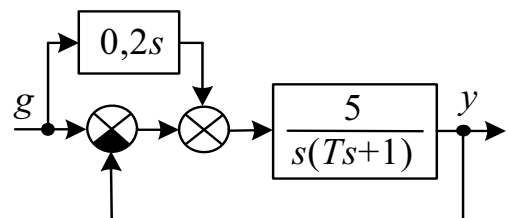


Рис. 7.69

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) ковариантность до  $\xi$ ;      3) абсолютная ковариантность;  
2) частичная ковариантность;      4) мало данных.



- 7.4.22. Как изменится величина установившейся ошибки в статических режимах в системе (рис. 7.70) при увеличении её постоянной времени  $T$ ?

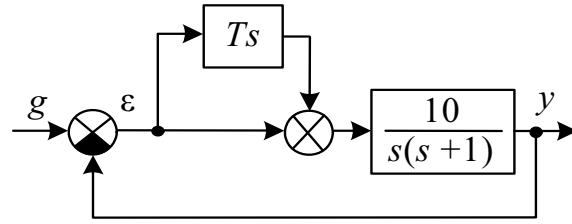


Рис. 7.70

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) увеличится; 2) уменьшится; 3) останется без изменения.

- 7.4.23. Определите передаточную функцию  $W_p(s)$  простейшего регулятора, обеспечивающего независимость выходной величины  $y$  системы (рис. 7.71) от возмущения  $f(t) = a \sin \omega_0 t$ .

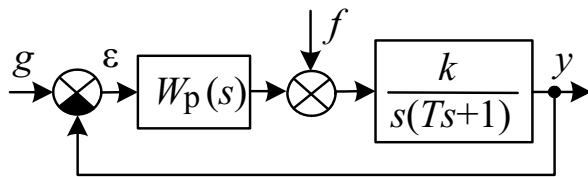


Рис. 7.71

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{k}{s}$ ; 3)  $k(s^2 + \omega_0^2)$ ; 5)  $\frac{k}{Ts}$ .  
 2)  $\frac{k}{s^2 + \omega_0^2}$ ; 4)  $\frac{k(s^2 + \omega_0^2)}{s}$ ;

## ГЛАВА 8

### ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 8.1. Оценка качества процессов по переходным характеристикам

8.1.1. Определите величину перерегулирования  $\sigma$  по приведенной на рис. 8.1 переходной характеристике  $h(t)$ .

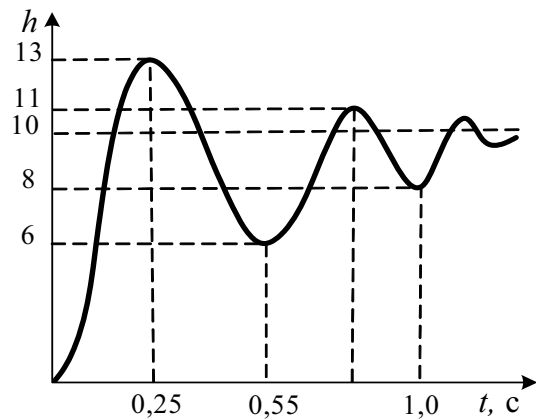


Рис. 8.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 30 %;    2) 20 %;    3) 10 %;    4) 40 %;    5) 25 %.

8.1.2. Определите величину перерегулирования  $\sigma$  по приведенной на рис. 8.2 кривой переходного процесса  $x(t)$ .

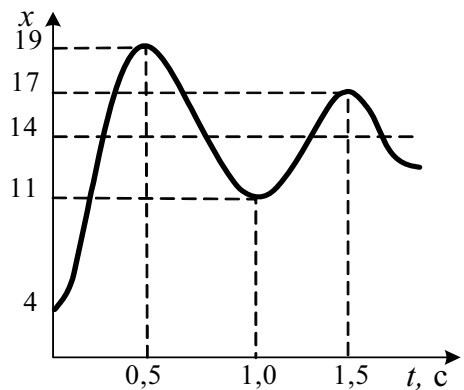


Рис. 8.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 50 %;    2) 40 %;    3) 30 %;    4) 20 %;    5) 35 %.

**8.1.3.** Определите время регулирования в системе автоматического регулирования по её заданной переходной характеристике (рис. 8.3).

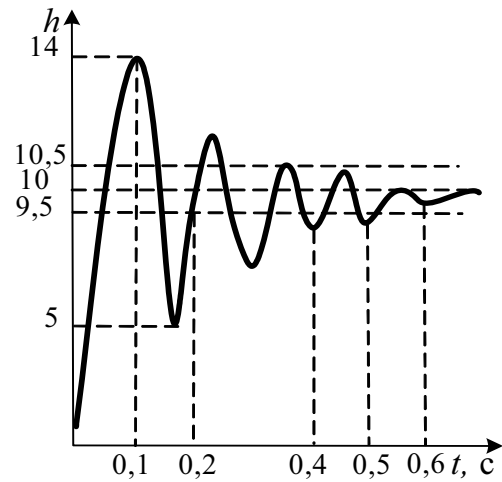


Рис. 8.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,1;      2) 0,2;      3) 0,6;      4) 0,4;      5) 0,5.

**8.1.4.** Определите время переходного процесса  $t_p$  в системе по её переходному процессу (рис. 8.4).

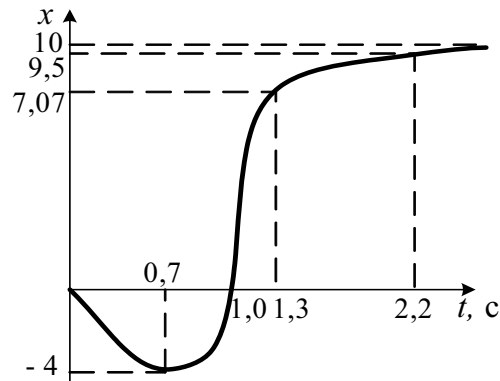


Рис. 8.4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,7;      2) 1,0;      3) 1,3;      4) 2,2;      5) 1,1.

**8.1.5.** Определите вид графика переходной функции  $h(t)$  у системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.5.

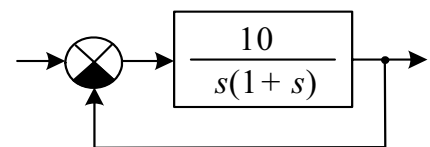
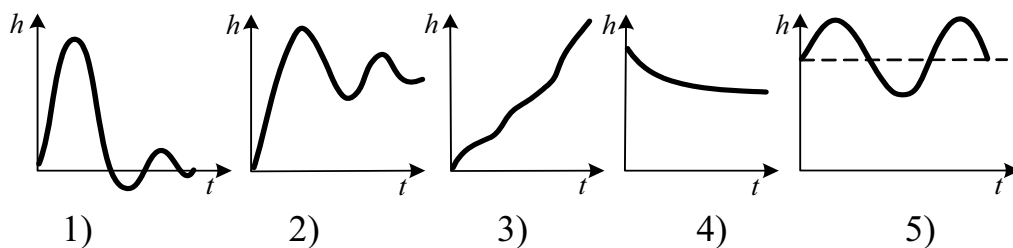


Рис. 8.5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



8.1.6. Определите вид графика переходной функции  $h(t)$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.6.

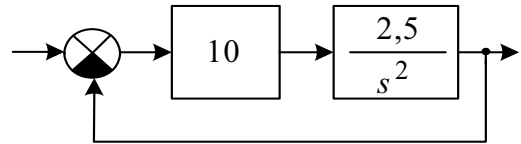
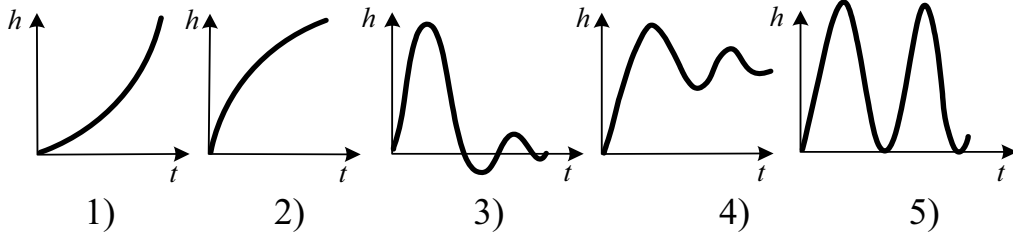


Рис. 8.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



8.1.7. Определите вид графика переходной функции  $h(t)$  у системы (рис. 8.7), если при этом  $K_1 K_2 > 0$ .

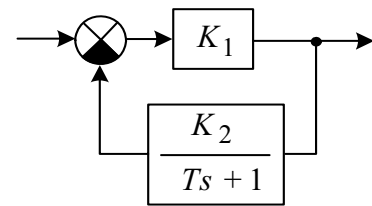
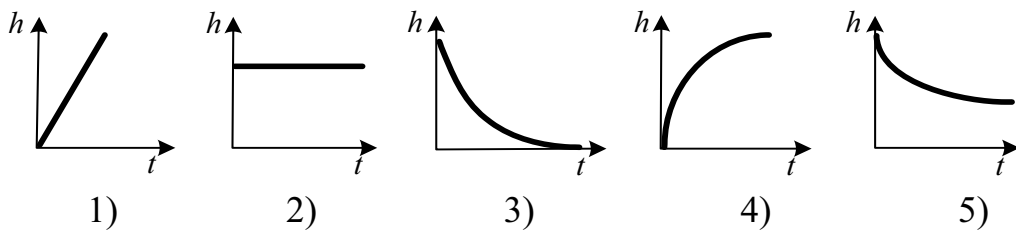


Рис. 8.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



При каких соотношениях между коэффициентами  $a_0, a_1, \dots, a_n$ ,  $b_0, b_1, \dots, b_m$  и значении  $v$  приведенная на рис. 8.8 переходная характеристика  $y(t)$  соответствует передаточной функции

$$W_{yx}(s) = \frac{(b_m s^{m-v} + \dots + b_1 s + b_0) s^v}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0} \text{ и}$$

ступенчатому воздействию  $x(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $m = n$ ,  $v = 0$ ,  $\frac{b_0}{b_m} > a_n$ ;

3)  $b_0 < a_0$ ,  $v = 1$ ,  $b_m < a_n$ ;

2)  $m < n$ ,  $v = 1$ ,  $b_0 > a_0$ ;

4)  $m = n$ ,  $v = 0$ ,  $\frac{b_m}{a_n} = \frac{b_0}{a_0}$ .

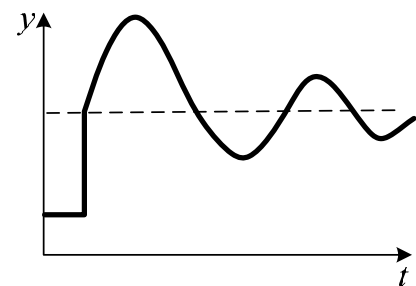


Рис. 8.8

**8.1.9.** При каких соотношениях между коэффициентами  $a_0, a_1, \dots, a_n$ ,  $b_0, b_1, \dots, b_m$  и значении  $v$  приведенная на рис. 8.9 переходная характеристика  $y(t)$  соответствует передаточной функции

$$W_{yx}(s) = \frac{(b_m s^{m-v} + \dots + b_1 s + b_0) s^v}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0}$$

и ступенчатому воздействию  $x(t)$ ?

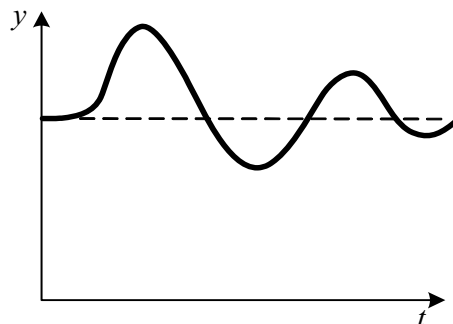


Рис. 8.9

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $b_m > a_n$ ,  $m < n$ ,  $v \neq 0$ ;

3)  $b_m < a_n$ ,  $m > n$ ,  $v = 1$ ;

2)  $b_m = a_n$ ,  $m < n$ ,  $v \neq 0$ ;

4)  $b_m = a_0$ ,  $m < n$ ,  $v = 0$ .

**8.1.10.** Определите конечное значение выходного сигнала  $y(\infty)$  в системе с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,01s^3 + 0,1s^2 + 0,5s + 5}{0,001s^4 + 0,01s^3 + 0,4s^2 + s + 10}$$

при  $x(t) = 20 \cdot 1(t)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) 5;

2) 10;

3) 20;

4) 2;

5) 4.

**8.1.11.** Определите начальное значение переходной функции  $y(0_+)$  для системы с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,01s^3 + 0,1s^2 + s + 4}{0,005s^3 + 0,2s^2 + 0,5s + 10}$$

при  $x(t) = 5 \cdot 1(t)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) 5;

2) 0,5;

3) 2;

4) 20;

5) 10.

## 8.2. Корневые оценки качества

**8.2.1.** Каким уравнением определяются нули передаточной функции системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.10?

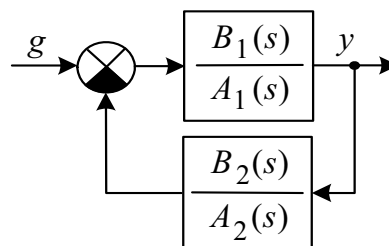


Рис. 8.10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |  |
|--|--|
| 1) $A_1(s)B_1(s) + A_2(s)B_2(s) = 0$ ; | 4) $A_1(s)A_2(s) = 0$ ;                |
| 2) $B_1(s)A_2(s) = 0$ ;                | 5) $A_1(s)A_2(s) + B_1(s)B_2(s) = 0$ . |
| 3) $B_1(s)B_2(s) = 0$ ;                |  |

**8.2.2.** Каким уравнением определяются полюса передаточной функции системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.11?

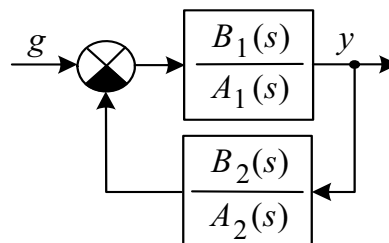


Рис. 8.11

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |  |
|--|--|
| 1) $A_1(s)B_1(s) + A_2(s)B_2(s) = 0$ ; | 4) $A_1(s)A_2(s) = 0$ ;                |
| 2) $B_1(s)A_2(s) = 0$ ;                | 5) $A_1(s)A_2(s) + B_1(s)B_2(s) = 0$ . |
| 3) $B_1(s)B_2(s) = 0$ ;                |  |

**8.2.3.** Какой вид имеет переходная функция системы с заданным на рис. 8.12 расположением полюсов?

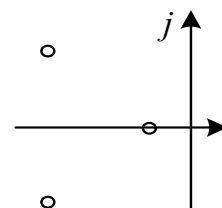
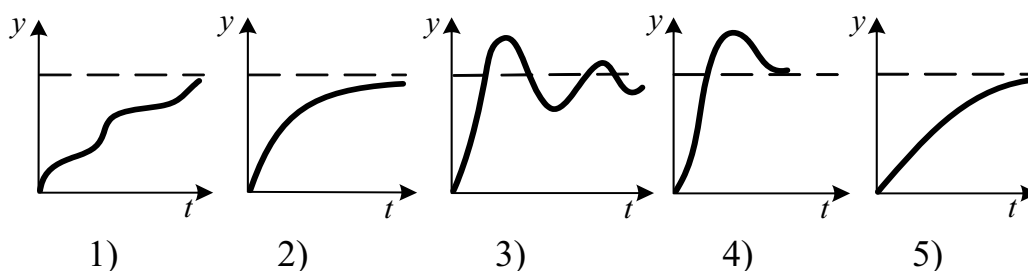


Рис. 8.12



- 1)                      2)                      3)                      4)                      5)

8.2.4. Какой вид имеет переходная функция системы с заданным на рис. 8.13 расположением полюсов?

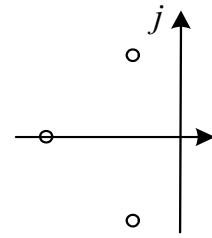
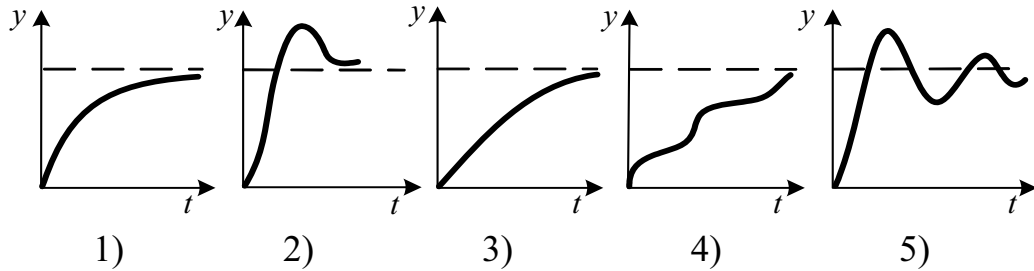


Рис. 8.13

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



8.2.5. Определите степень колебательности линейной стационарной непрерывной системы с заданным расположением полюсов (рис. 8.14).

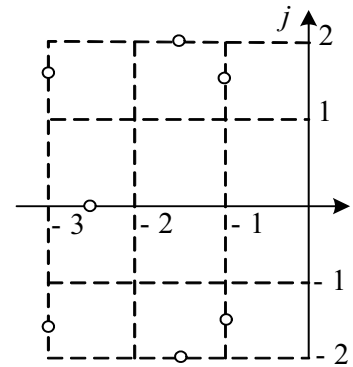


Рис. 8.14

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,5;      2) 1,5;      3) 2/3;      4) 1;      5) 2.

8.2.6. Определите степень устойчивости системы с заданным на рис. 8.15 расположением полюсов.

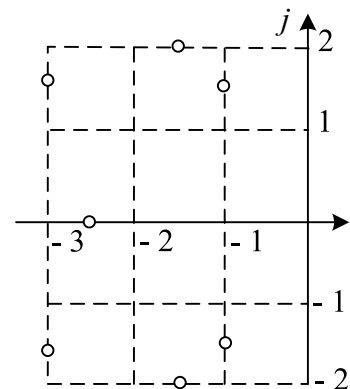


Рис. 8.15

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;      2) 1,5;      3) 3;      4) 2;      5) 2/3 .

8.2.7. Определите степень устойчивости  $\eta$  и степень колебательности  $\mu$  системы с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{10}{s^2 + 7s + 12}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| 1) $\eta = 4, \mu = 0;$      | 4) $\eta = 4, \mu = 0;$ |
| 2) $\eta = 4, \mu = \infty;$ | 5) $\eta = 4, \mu = 0.$ |
| 3) $\eta = 3, \mu = 0;$      |                         |

8.2.8. Определите степень устойчивости  $\eta$  и степень колебательности  $\mu$  системы с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{20}{2s^2 + 4s + 5,125}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1) $\eta = 1,25, \mu = 1;$  | 4) $\eta = 1, \mu = 1,25;$ |
| 2) $\eta = -1, \mu = 0,8;$  | 5) $\eta = 1, \mu = 0,8.$  |
| 3) $\eta = -1, \mu = 1,25;$ |                            |

8.2.9. Определите степень устойчивости  $\eta$  и степень колебательности  $\mu$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.16.

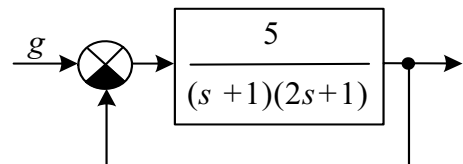


Рис. 8.16

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $\eta = 0,75; \mu = \frac{3}{\sqrt{39}};$  | 4) $\eta = -0,75; \mu = \frac{\sqrt{39}}{4};$ |
| 2) $\eta = -0,75; \mu = \frac{3}{\sqrt{39}};$ | 5) $\eta = 0,75; \mu = \frac{4}{\sqrt{39}}.$  |
| 3) $\eta = 0,75; \mu = \frac{\sqrt{39}}{4};$  |   |



**8.2.10.** Определите степень устойчивости системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.17.

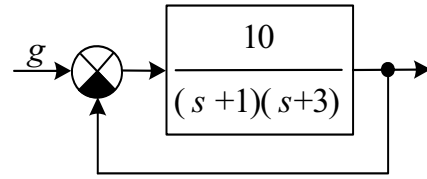


Рис. 8.17

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sqrt{5}/2$ ;    2)  $\sqrt{5}$ ;    3) 2;    4)  $2/\sqrt{5}$ ;    5)  $1/2$ .

**8.2.11.** Определите степень колебательности системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.18.

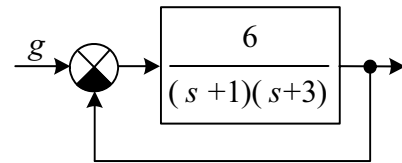


Рис. 8.18

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sqrt{5}/2$ ;    2)  $\sqrt{5}$ ;    3)  $2/\sqrt{5}$ ;    4) 2;    5)  $1/2$ .

**8.2.12.** Определите зависимость степени колебательности  $\mu$  системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.19, от параметров системы.

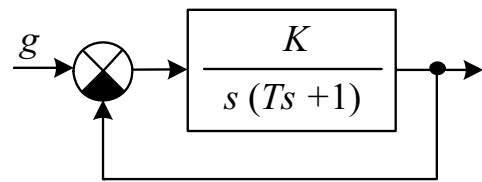


Рис. 8.19

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\mu = 4kT$ ;    3)  $\mu = \sqrt{1 - 4kT}$ ;    5)  $\mu = \sqrt{4kT - 1}/2T$ .  
 2)  $\mu = \frac{2T}{k}$ ;    4)  $\mu = \sqrt{4kT - 1}$ ;

**8.2.13.** Определите значение  $K$ , при котором система с представленной на рис. 8.20 операторно-структурной схемой имеет степень колебательности, равную 1.

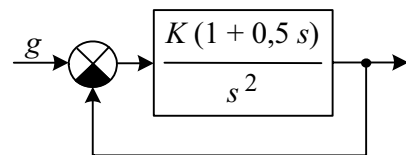


Рис. 8.20

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 5;    2) 2;    3) 1;    4) 4;    5) 8.



8.2.17. Определите приближенно время регулирования  $t_p$  в системе с заданным на рис. 8.23 расположением полюсов.

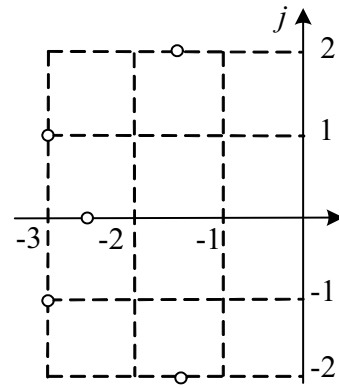


Рис. 8.23

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1 с;      2) 3 с;      3) 0,1 с;      4) 2 с;      5) 0,5 с.

8.2.18. Какова примерно длительность переходного процесса в системе, полюса передаточной функции которой

$$s_1 = -20; \quad s_{2,3} = -5 \pm j7,$$

если её вход  $u(t) = 10 \cdot 1(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) не более одной секунды;      3) примерно 5 секунд;  
2) примерно 20 секунд;      4) не более 0,2 секунды.

8.2.19. Найдите соотношение между параметрами  $K$  и  $T$ , обеспечивающее аперичность переходного процесса в системе с операторно-структурной схемой, представленной на рис. 8.24.

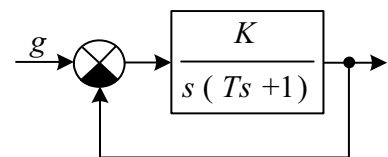


Рис. 8.24

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K > 2T$ ;      3)  $4KT < 1$ ;      5)  $1 > \sqrt{4KT - 1}$ .  
2)  $K < \frac{T}{2}$ ;      4)  $4KT > 1$ ;

### 8.3. Частотные оценки качества

8.3.1. Чему равен запас устойчивости по амплитуде (в децибелах) у САР с приведенным на рис. 8.25 амплитудно-фазовым годографом в разомкнутом состоянии?

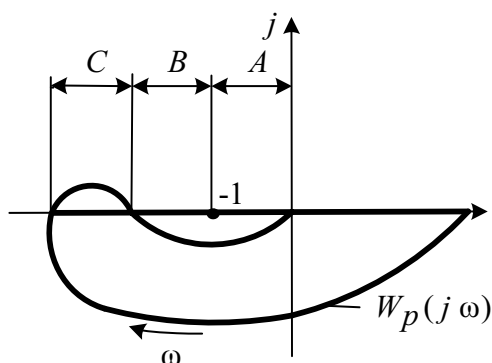


Рис. 8.25

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| 1) $20 \lg B$ ;      | 4) $20 \lg(A - B)$ ;     |
| 2) $20 \lg C$ ;      | 5) $20 \lg(A + B + C)$ . |
| 3) $20 \lg(A + B)$ ; |                          |

8.3.2. Чему равен запас устойчивости по фазе замкнутой системы с единичной отрицательной обратной связью и приведенным на рис. 8.26 амплитудно-фазовым годографом в разомкнутом состоянии?

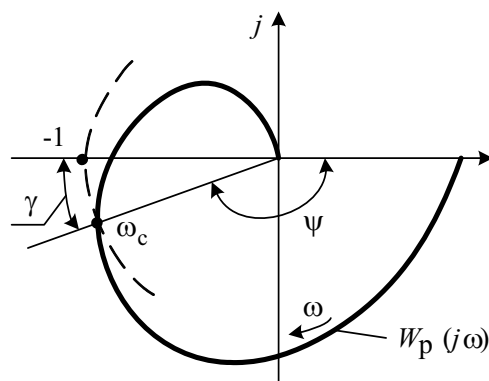


Рис. 8.26

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| 1) $\psi$ ;       | 4) $\arg W_p(j\omega_c)$ ; |
| 2) $\gamma$ ;     | 5) $\psi + \gamma$ .       |
| 3) $\pi + \psi$ ; |                            |

**8.3.3.** Какая из логарифмических амплитудно-частотных характеристик минимально-фазовой системы в разомкнутом состоянии, приведенных на рис. 8.27, обеспечивает лучшее качество переходных процессов в замкнутой системе с единичной отрицательной обратной связью?

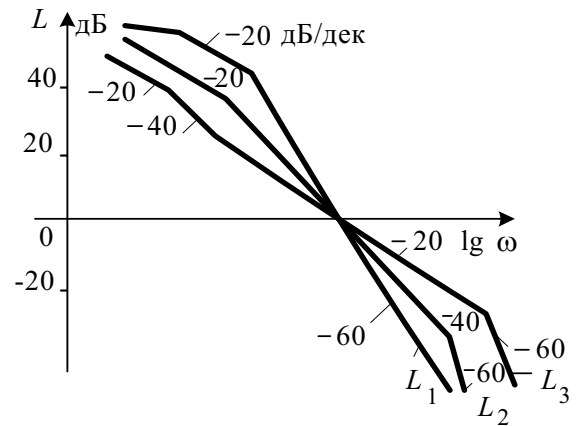


Рис. 8.27

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 1) все приведенные ЛАЧХ;      | 4) $L_2$ ; |
| 2) ни одна из указанных ЛАЧХ; | 5) $L_3$ . |
| 3) $L_1$ .                    |            |

**8.3.4.** Определите пределы для времени регулирования  $t_p$  в САР с единичной отрицательной обратной связью по заданной её ЛАЧХ в разомкнутом состоянии (рис. 8.28).

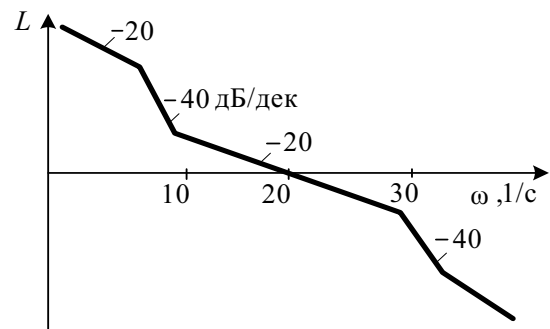


Рис. 8.28

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |   |
|--|---|
| 1) $1,2 \text{ с} < t_p < 2,2 \text{ с}$ ;   | 4) $0,2 \text{ с} < t_p < 0,65 \text{ с}$ ; |
| 2) $1,1 \text{ с} < t_p < 1,8 \text{ с}$ ;   | 5) $0,1 \text{ с} < t_p < 0,3 \text{ с}$ .  |
| 3) $0,55 \text{ с} < t_p < 0,92 \text{ с}$ ; |   |

8.3.5. По амплитудно-частотной характеристике системы  $A(\omega)$  (рис. 8.29) оценить период колебаний  $T_n$  её переходной функции.

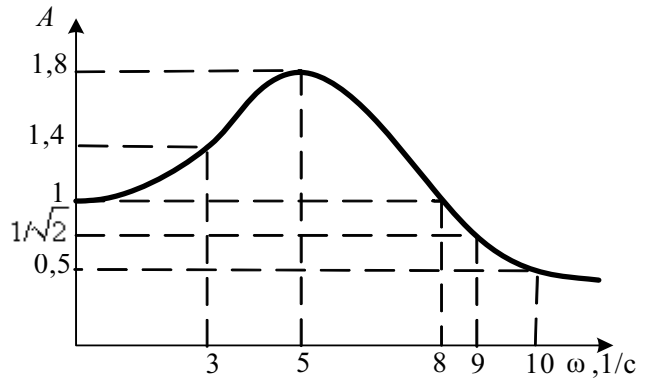


Рис. 8.29

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $T_n \approx 1,25$  с;                      3)  $T_n \approx 0,92$  с;                      5)  $T_n \approx 0,33$  с.  
 2)  $T_n \approx 2,09$  с;                      4)  $T_n \approx 0,1$  с;

8.3.6. По амплитудно-частотной характеристике системы  $A(\omega)$  (рис. 8.30) определить значение её показателя колебательности  $M$ .

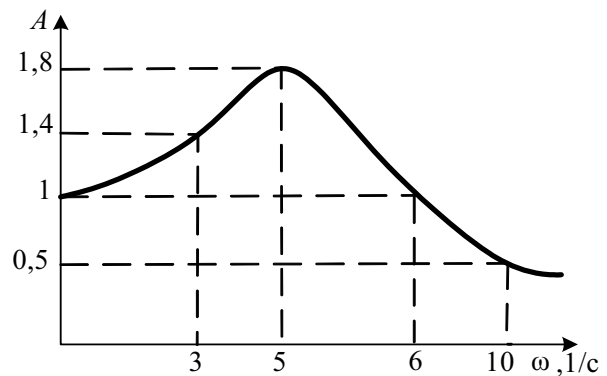


Рис. 8.30

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $M = 1$ ;    2)  $M = 1,4$ ;    3)  $M = 1,8$ ;    4)  $M = 0,5$ ;    5)  $M = \infty$ .

8.3.7. Определите полосу пропускания частот системы автоматического управления по её амплитудно-частотной характеристике, представленной на рис. 8.31.

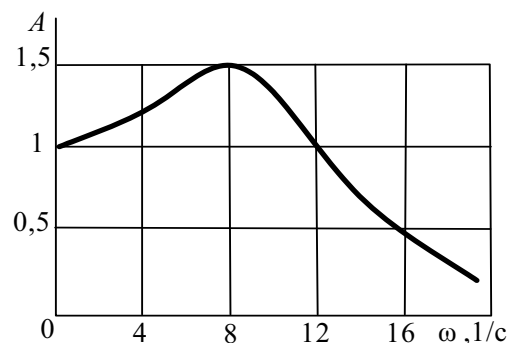


Рис. 8.31

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) от 0 до 8 1/c;                      4) от  $-\infty$  до 16 1/c;  
 2) от 0 до 12 1/c;                      5) от 0 до 16 1/c;  
 3) от 0 до 14 1/c;

**8.3.8.** Укажите формулу, устанавливающую связь вещественной частотной характеристики  $P(\omega)$  с переходной функцией  $h(t)$  системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) h(t) = \pi \int_{-\infty}^{\infty} P(\omega) \sin \omega t d\omega;$$

$$4) h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P(\omega) \omega}{\sin \omega t} d\omega;$$

$$2) h(t) = 2\pi \int_0^{\infty} \frac{P(\omega)}{\omega} \sin \omega t dt;$$

$$5) h(t) = \frac{\pi}{2} \int_0^{\infty} \frac{P(\omega)}{\omega} \cos \omega t d\omega.$$

$$3) h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{P(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega;$$

**8.3.9.** Определите по рис. 8.32,б переходную функцию  $h(t)$ , соответствующую вещественной частотной характеристике  $P(\omega)$ , представленной на рис. 8.32,а.

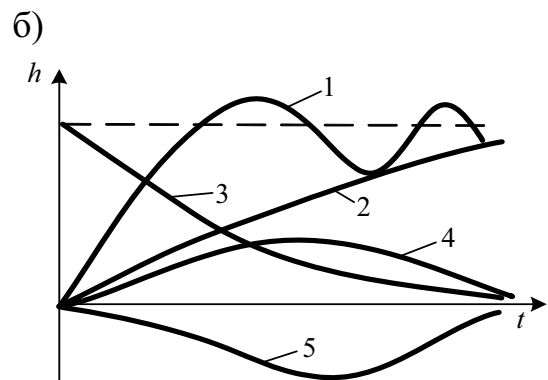
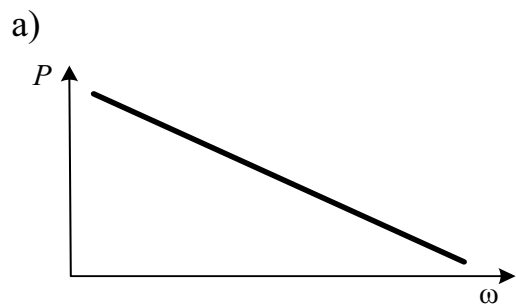


Рис. 8.32

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) 1;            2) 2;            3) 3;            4) 4;            5) 5.

**8.3.10.** Укажите из числа приведенных на рис. 8.33,б переходных функций  $h(t)$  ту, которая соответствует приведенной на рис. 8.33,а вещественной частотной характеристике  $P(\omega)$ .

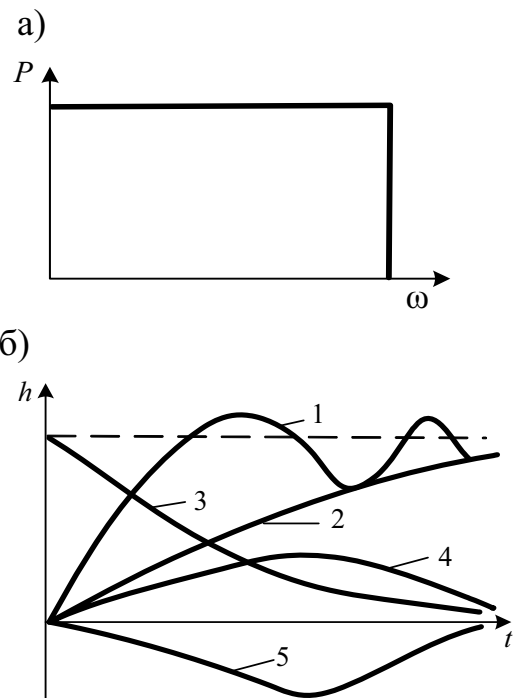


Рис. 8.33

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;      2) 2;      3) 3;      4) 4;      5) 5.

**8.3.11.** По приведенной на рис. 8.34 вещественной частотной характеристике системы приблизительно определите время регулирования  $t_p$ .

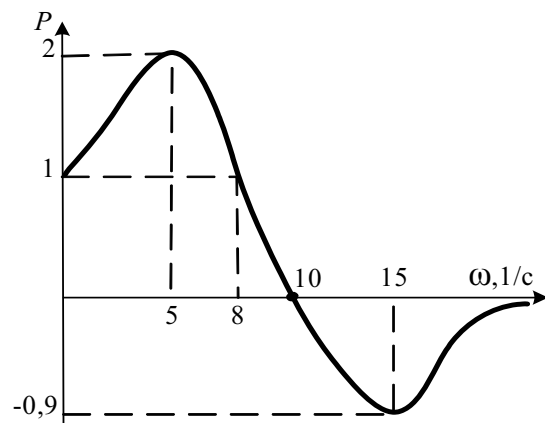


Рис. 8.34

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $t_p \leq 0,2$  с;      4)  $t_p \geq 0,5$  с;  
 2)  $t_p \leq 1$  с;      5) мало данных.  
 3)  $t_p \leq 1,2$  с;



**8.3.12.** Укажите формулу, устанавливающую связь между получаемой по таблице  $h$ -функций кривой  $h_e(t)$ , соответствующей вещественной частотной характеристике (ВЧХ) типа единичной трапеции, и действительной переходной функцией  $h(t)$ , если известны  $P_0$  и частота среза  $\omega_k$  (рис. 8.35) трапецеидальной вещественной частотной характеристики  $P(\omega)$ .

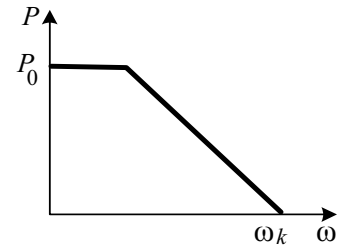


Рис. 8.35

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |  |
|--|--|
| 1) $x(t) = 1/P_0 h(\tau \cdot \omega_k)$ ; | 4) $x(t) = 1/P_0 h(\tau/\omega_k)$ ;     |
| 2) $x(t) = 1/P_0 h(\tau - \omega_k)$ ;     | 5) $x(t) = P_0 \cdot h(\tau/\omega_k)$ . |
| 3) $x(t) = 1/P_0 h(\tau + \omega_k)$ ;     |  |

**8.3.13.** По характеристикам, представленным на рис. 8.36, определите время регулирования  $t_p$  и величину перерегулирования  $\sigma$  системы.

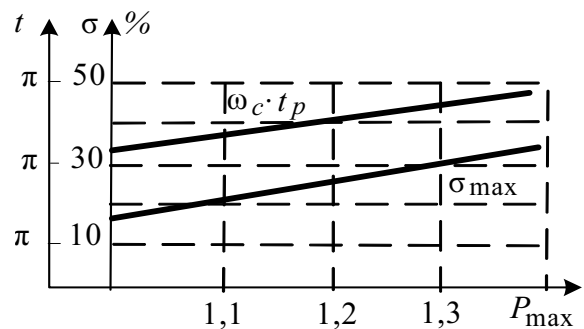
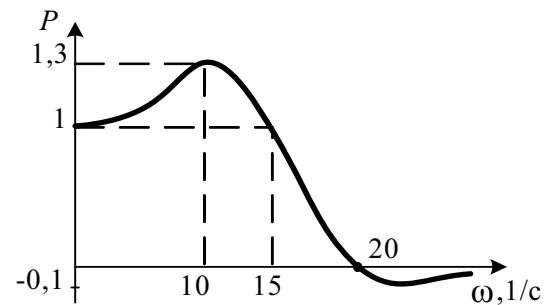


Рис. 8.36

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |  |
|---|--|
| 1) $t_p \approx 0,75$ с, $\sigma \approx 18$ %; | 4) $t_p \approx 0,5$ с, $\sigma \approx 52$ %; |
| 2) $t_p \approx 1$ с, $\sigma \approx 30$ %;    | 5) $t_p \approx 0,1$ с, $\sigma \approx 16$ %. |
| 3) $t_p \approx 1,5$ с, $\sigma \approx 40$ %;  |  |

**8.3.14.** Определите начальное  $h(0)$  и конечное  $h(\infty)$  значения переходной функции САР по виду ее вещественной частотной характеристики, представленной на рис. 8.37.

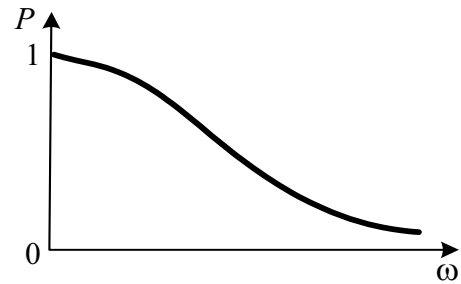


Рис. 8.37

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1) $h(0) = 0, h(\infty) = 1;$ | 3) $h(0) = 0, h(\infty) = 0;$ |
| 2) $h(0) = 1, h(\infty) = 0;$ | 4) $h(0) = 1, h(\infty) = 1.$ |

**8.3.15.** Определите начальное  $h(0)$  и конечное  $h(\infty)$  значения переходной функции САР по виду ее вещественной частотной характеристики, представленной на рис. 8.38.

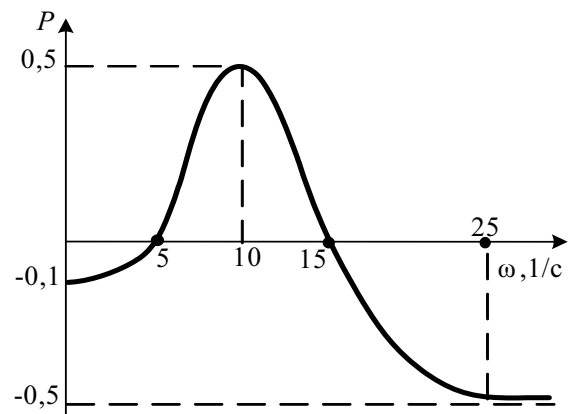


Рис. 8.38

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                       |                                     |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1) $h(0) = 0, h(\infty) = -0,5;$      | 4) $h(0) = -0,1, h(\infty) = 0,5;$  |
| 2) $h(0) = \infty, h(\infty) = 0,05;$ | 5) $h(0) = -0,5, h(\infty) = -0,1.$ |
| 3) $h(0) = +0,5, h(\infty) = -0,5;$   |                                     |

**8.3.16.** Определите приближенное значение максимального перерегулирования  $\sigma$  по виду вещественной частотной характеристики  $P(\omega)$  системы, представленной на рис. 8.39.

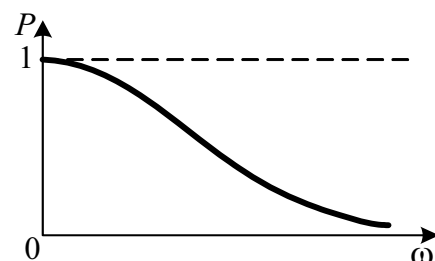


Рис. 8.39

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |          |          |          |          |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1) 0; | 2) 10 %; | 3) 18 %; | 4) 36 %; | 5) 50 %. |
|-------|----------|----------|----------|----------|

## 8.4. Интегральные оценки качества переходных процессов

**8.4.1.** Для решения какой (или каких) задачи синтеза систем автоматического управления чаще всего используются интегральные оценки качества?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) для выбора схемотехнических решений;
- 2) для сравнительного анализа схемотехнических решений;
- 3) для оценки эффективности выбранного структурного и параметрического варианта реализации САУ;
- 4) для выбора параметров системы;
- 5) для оценки характера переходных процессов в системе.

**8.4.2.** Каким выражением определяется простейшая линейная интегральная оценка  $J$  качества процессов в системе автоматического управления (рис. 8.40) при ступенчатом входном воздействии  $y_3(t)$ ?

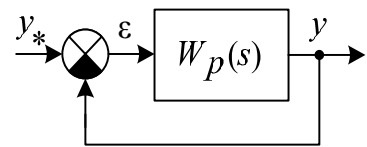


Рис. 8.40

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |   |
|--|---|
| <p>1) <math>J = \int_0^{\infty} y(t) dt;</math></p>            | <p>4) <math>J = \int_0^{\infty} [y(\infty) - y(t)] dt;</math></p>         |
| <p>2) <math>J = \int_0^{\infty} [y_3(t) - y(t)] dt;</math></p> | <p>5) <math>J = \int_0^{\infty} t \cdot [y(\infty) - y(t)] dt.</math></p> |
| <p>3) <math>J = \int_0^{\infty} \epsilon(t) dt;</math></p>     |   |

**8.4.3.** Для исследования каких переходных процессов используются линейные интегральные оценки?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| 1) для колебательных; | 3) для монотонных; |
| 2) для расходящихся;  | 4) для любых.      |

**8.4.4.** Как связаны между собой простейшая линейная интегральная оценка  $J$  системы автоматического регулирования при ступенчатом входном воздействии  $y_3(t)$  с лапласовыми изображениями её переменных, указанных на рис. 8.41?

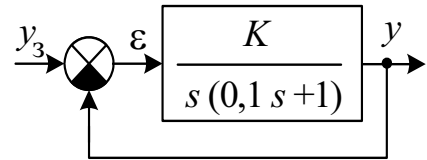


Рис. 8.41

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $J = L[y_3(t) - y(t)]$  при  $s = 0$ ;
- 2)  $J = L[\epsilon(s)]$  при  $s = 0$ ;
- 3)  $J = L[\epsilon(s)]$  при  $s = \infty$ ;
- 4)  $J = L[y(\infty) - y(t)]$  при  $s = 0$ ;
- 5)  $J = L[y_3(t) - y(t)]$  при  $s = \infty$ .

**8.4.5.** Определите аналитическое выражение простейшей линейной интегральной оценки  $J$  качества процессов при ступенчатом входном воздействии  $y_3(t)$  в системе автоматического управления, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.42?

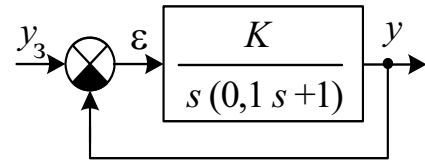


Рис. 8.42

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $J = \frac{1}{K}$ ;
- 2)  $J = \frac{1+K}{K}$ ;
- 3)  $J = \frac{1}{1+K}$ ;
- 4)  $J = \frac{K}{1+K}$ .

**8.4.6.** Определите аналитическое выражение простейшей линейной интегральной оценки  $J$  качества процессов при воздействии  $y_3(t) = 3t$  в системе автоматического управления, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.43?

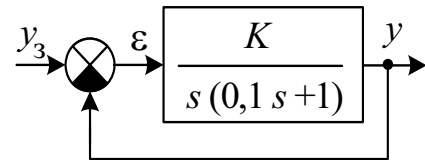


Рис. 8.43

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $J = \frac{3+0,6K}{2K^2}$ ;
- 2)  $J = \frac{3-0,3K}{K^2}$ ;
- 3)  $J = \frac{K}{3-0,3K}$ .

**8.4.7.** Вычислите линейную интегральную оценку качества САР, у которой переходная функция  $h(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}}$  и  $T = 0,1$  с.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1 с;      2) 10 с;      3) 0,9 с;      4) 0,1 с;      5)  $e^{-10}$  с.

**8.4.8.** Определите аналитическое выражение интегральной квадратичной оценки  $J_0$  качества процессов при ступенчатом входном воздействии  $y_*(t)$  в системе автоматического управления, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 8.44?

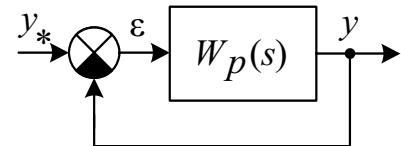


Рис. 8.44

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $J_0 = \int_0^{\infty} [y_3(t) - y(t)]^2 dt;$       3)  $J_0 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt;$   
 2)  $J_0 = L[\varepsilon^2(s)]$  при  $s = 0;$       4)  $J_0 = \int_0^{\infty} [y(\infty) - y(t)]^2 dt.$

**8.4.9.** Укажите, к какой из приведенных на рис. 8.45 переходных функций приближается переходный процесс в САР с выходом  $y(t)$  при выборе её параметров из условия минимума интегральной квадратичной оценки вида

$$J_0 = \int_0^{\infty} [y(\infty) - y(t)]^2 dt.$$

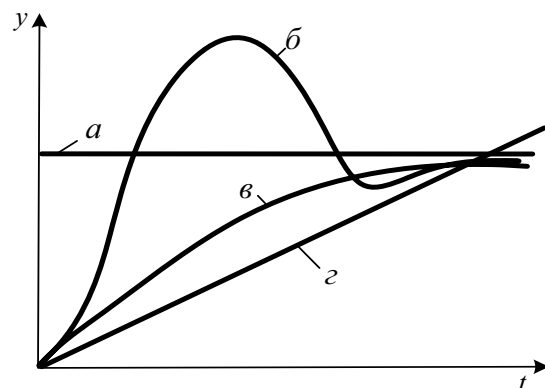


Рис. 8.45

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) а;      3) в;      5) ни к одной из приведенных выше кривых.  
 2) б;      4) г;

**8.4.10.** К какой из приведенных на рис. 8.46 кривых приближается переходный процесс в САР при выборе её параметров из условия минимума интегральной оценки вида

$$I_1 = \int_0^{\infty} [\varepsilon^2(t) + \tau^2 \dot{\varepsilon}^2(t)] dt,$$

где  $\varepsilon(t)$  – динамическая ошибка системы?

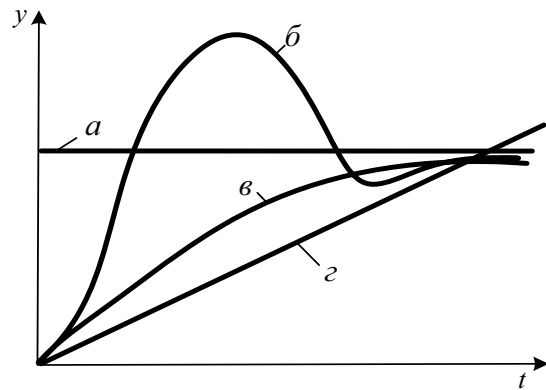


Рис. 8.46

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a$ ;      3)  $z$ ;      5) ни к одной из приведенных кривых.  
 2)  $b$ ;      4)  $z$ ;

**8.4.11.** Определите значение коэффициента  $\alpha$  по критерию минимума интегральной квадратичной оценки  $I_0$ , если зависимость  $I_0(\alpha)$  имеет представленный на рис. 8.47 вид.

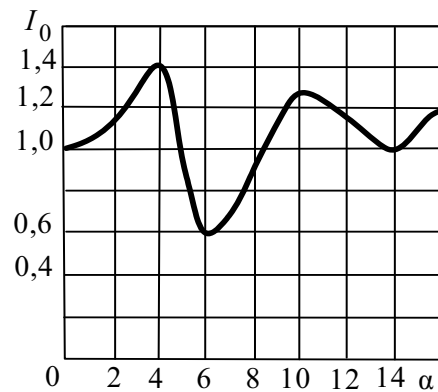


Рис. 8.47

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 4;      2) 6;      3) 8;      4) 10;      5) 14 .

**8.4.12.** Определите значение постоянной времени  $T$  системы, минимизирующее её интегральную квадратичную оценку  $J_0$ , если зависи-

$$J_0(T) = \frac{T^2 - T + 2}{2T(T + 2)}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1 с;      2) 2 с;      3) 3 с;      4) 0,2 с;      5) 0,5 с.

**8.4.13.** Чему равна интегральная квадратичная оценка  $I_0$  для системы с передаточной функцией  $W(s) = \frac{0,2s}{0,02s^3 - 0,1s^2 + 0,5s + 11}$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\infty$ ;      2)  $10/11$  с;      3)  $1/11$  с;      4) 10 с;      5) 0.

**8.4.14.** Определите значение  $K$ , при котором интегральная квадратичная оценка

$$J_0 = \int_0^{\infty} [h(\infty) - h(t)]^2 dt,$$

определяемая по переходной функции  $h(t)$  системы (рис. 8.48), минимальна.

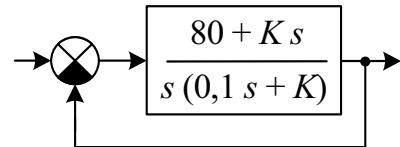


Рис. 8.48

Примечание:

если  $Y(s) = \frac{b_1 s + b_0}{c_2 s^2 + c_1 s + c_0}$ , то

$$J_0 = \frac{b_1^2 c_0 + b_0^2 c_2}{2 c_0 c_1 c_2}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) -1;      2)  $2\sqrt{2}$ ;      3) 2;      4) -4;      5)  $\sqrt{6}$ .

**8.4.15.** Определите значение интегральной квадратичной оценки

$$J_1 = \int_0^{\infty} [y_n^2(t) + \tau_1^2 \cdot \dot{y}_n^2(t)] dt$$

системы автоматического регулирования, если её переходная функция  $h(t) = 1 - e^{-t/T}$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{T^2 + \tau_1^2}{2T}$ ;      3)  $\frac{2T^2 + \tau_1^2}{4T^2}$ ;      5)  $\frac{2\tau_1 + T^2}{4T}$ .  
 2)  $\frac{T + 2\tau_1^2}{2T^2}$ ;      4)  $\frac{\tau_1^2 + T}{2T^2}$ ;

**8.4.16.** В каких пределах рекомендуется выбирать  $\tau_1$  для интегральной оценки вида  $J_1 = \int_0^{\infty} [\varepsilon^2(t) + \tau^2 \dot{\varepsilon}^2(t)] dt$ , если требуемое время регулирования равно  $t_p$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $0 < \tau_1 < 0,1 t_p$ ;             | 4) $\frac{t_p}{2} > \tau_1 > \frac{t_p}{3}$ ; |
| 2) $0,1 t_p < \tau_1 < \frac{t_p}{6}$ ; | 5) $\frac{t_p}{6} < \tau_1 < \frac{t_p}{3}$ . |
| 3) $\tau_1 \approx 0,5 t_p$ ;           |   |

**8.4.17.** Какую из интегральных оценок множества

$$J_m = \int_0^{\infty} \left[ \varepsilon^2(t) + \sum_{i=1}^m \tau_i^{2i} \left( \varepsilon^{(m)}(t) \right)^2 \right] dt$$

(с каким значением  $m$ ) предпочтительно выбирать, если экстремалью для переходных процессов при ступенчатых изменениях входного сигнала желательно иметь кривую 4, представленную на рис. 8.49?

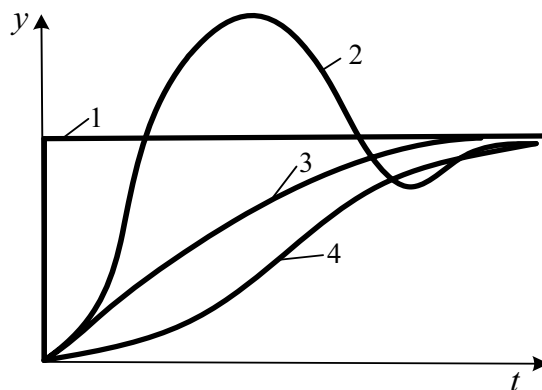


Рис. 8.49

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| 1) $m = 0$ ; | 3) $m = 2$ ; | 5) $m = 4$ . |
| 2) $m = 1$ ; | 4) $m = 3$ ; |              |



## ГЛАВА 9

### ОСОБЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 9.1. Системы с запаздыванием

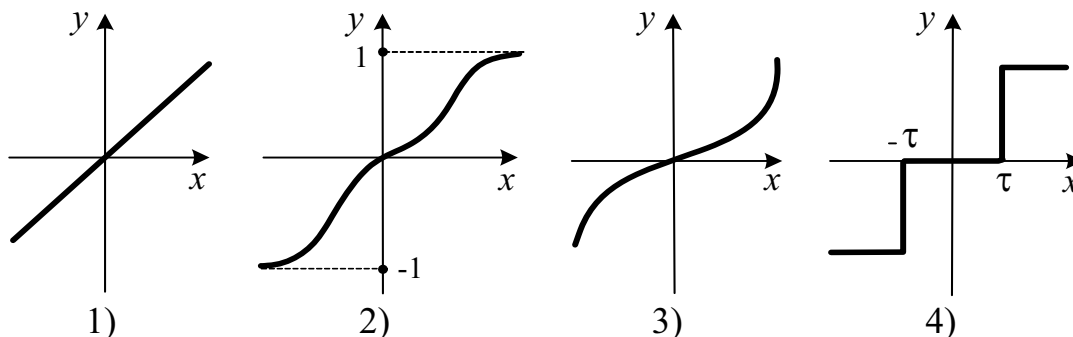
**9.1.1.** Каким уравнением описывается звено чистого запаздывания с входом  $x$ , выходом  $y$  и временем чистого запаздывания  $\tau$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $y(t - \tau) = x(t)$ ;      3)  $y(t) = x(t - \tau)$ ;      5)  $y(t) = x(t + \tau)$ .  
 2)  $\frac{dy}{dt} = k \cdot x(t - \tau)$ ;      4)  $e^{-\tau t} y(t) = x(t)$ ;

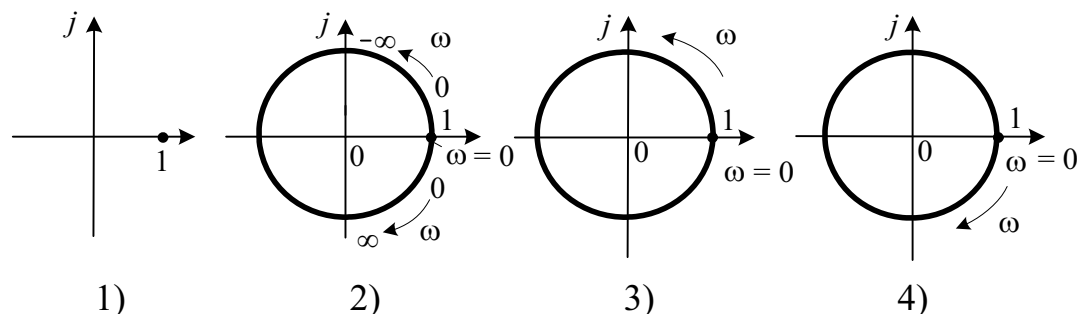
**9.1.2.** Какой вид имеет статическая характеристика звена чистого запаздывания с входом  $x$ , выходом  $y$  и временем чистого запаздывания  $\tau$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



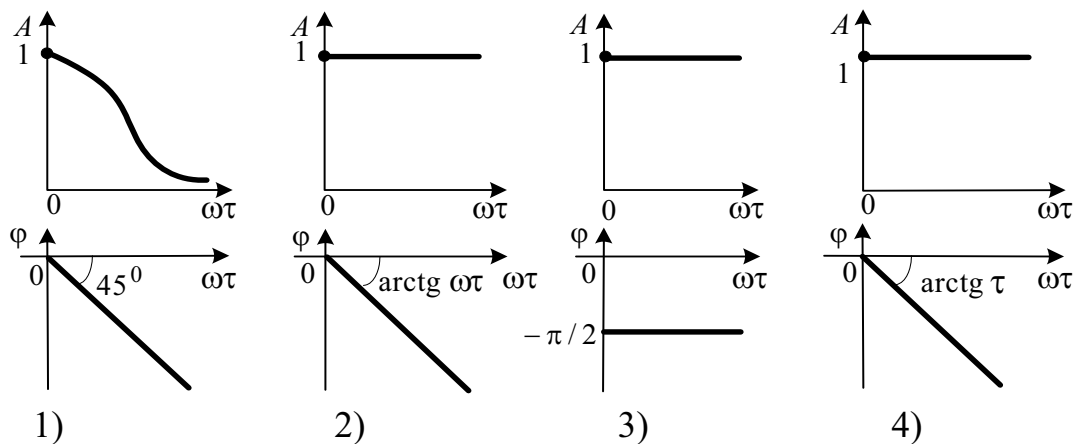
**9.1.3.** Какой вид имеет амплитудно-фазовый годограф звена чистого запаздывания?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



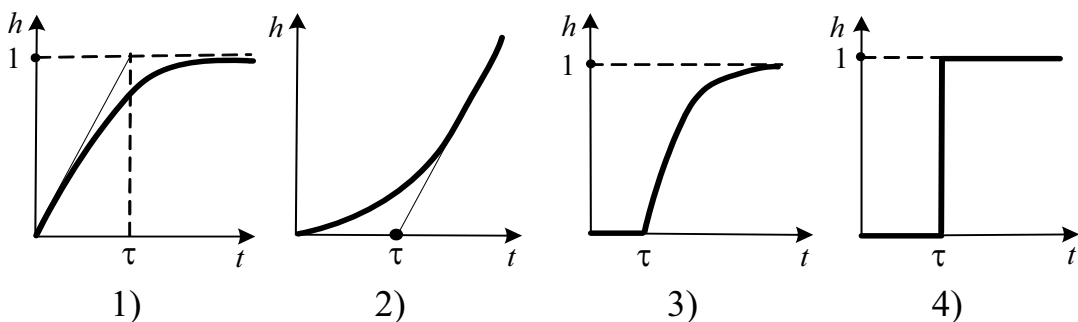
9.1.4. Какой вид имеют амплитудная  $A(\omega)$  и фазовая  $\varphi(\omega)$  частотные характеристики у звена чистого запаздывания?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



9.1.5. Какой вид имеет график переходной функции  $h(t)$  звена чистого запаздывания?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



9.1.6. Какова передаточная функция системы, описываемой уравнением

$$T \frac{dy(t+\tau)}{dt} + y(t+\tau) = k \cdot x(t)?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $e^{-\tau s}$ ;                      3)  $e^{\tau s}$ ;                      5)  $\frac{k}{Ts+1} \cdot e^{-\tau s}$ .
- 2)  $\frac{k}{Ts+1} \cdot e^{\tau s}$ ;                      4)  $\frac{k}{Ts+e^{-\tau s}}$ ;

9.1.7. Какой из амплитудно-фазовых годографов системы с запаздыванием  $W(j\omega) \cdot e^{-j\omega\tau}$  соответствует приведенному на рис. 9.1 годографу?

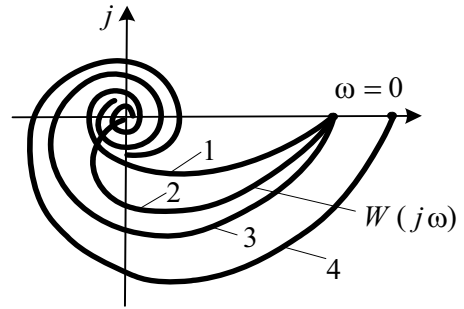


Рис. 9.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;      2) 2;      3) 3;      4) 4;      5) мало данных.

9.1.8. Чему равно время чистого запаздывания в системе (рис. 9.2)?

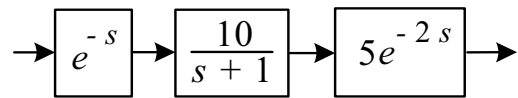


Рис. 9.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1 с;      2) 2 с;      3) 3 с;      4) 5 с;      5) 20 с.

9.1.9. Какой вид имеет амплитудно-фазовый годограф у приведенной на рис. 9.3 системы?

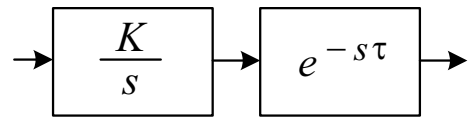
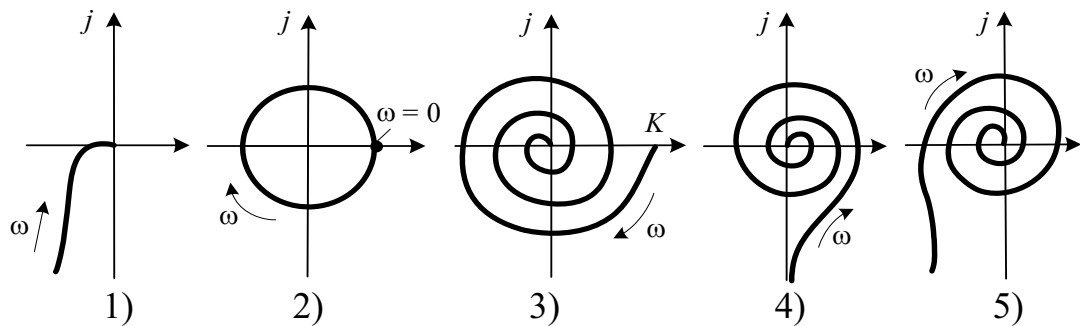


Рис. 9.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



9.1.10. Является ли условие положительности коэффициентов характеристического уравнения системы второго порядка с чистым запаздыванием достаточным для её устойчивости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) да;      2) нет;      3) мало данных.

9.1.11. При каком значении  $\tau$  замкнутая система с единичной отрицательной обратной связью и передаточной функцией в разомкнутом состоянии  $W(s) \cdot e^{-\tau s}$  будет находиться на границе устойчивости, если её амплитудно-фазовый годограф  $W(j\omega)$  имеет приведенный на рис. 9.4 вид?

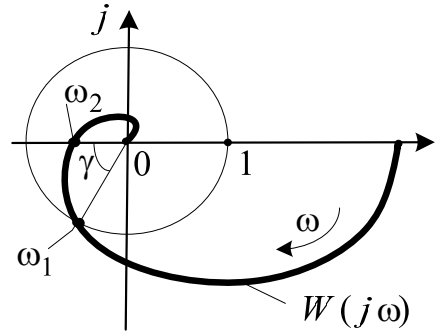


Рис. 9.4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |                                |                 |
|---|--------------------------------|-----------------|
| 1) $\frac{\pi - \gamma}{\omega_1}$ ;      | 3) $\frac{\gamma}{\omega_2}$ ; | 5) мало данных. |
| 2) $\frac{\gamma}{\omega_2 - \omega_1}$ ; | 4) $\frac{\gamma}{\omega_1}$ . |                 |

9.1.12. Для системы (рис. 9.5,а) определить критическое время запаздывания  $\tau_{кр}$  по её логарифмическим характеристикам  $L(\omega) = 20 \lg |W(j\omega)|$  и  $\varphi(\omega) = \arg W(j\omega)$ , представленным на рис. 9.5, б.

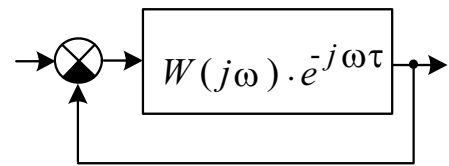


Рис. 9.5, а

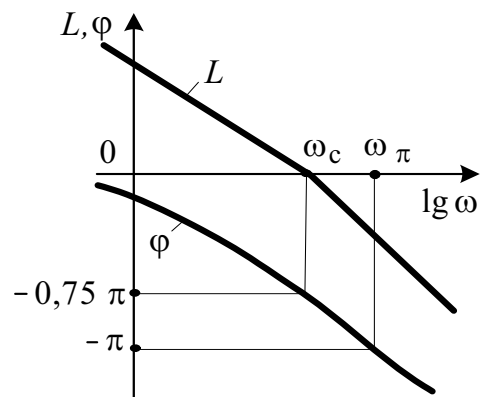


Рис. 9.5, б

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                |                               |   |
|--------------------------------|-------------------------------|---|
| 1) $\frac{\pi}{4 \omega_c}$ ;  | 3) $\frac{\pi}{\omega_\pi}$ ; | 5) система устойчива при любом $\tau$ . |
| 2) $\frac{3\pi}{4 \omega_c}$ ; | 4) $\frac{\pi}{\omega_c}$ ;   |   |

9.1.13. Устойчива ли система, приведенная на рис. 9.6, а, если её амплитудно-фазовый годограф  $W(j\omega)$  имеет вид, указанный на рис. 9.6, б?

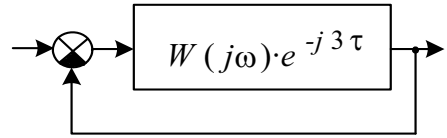


Рис. 9.6, а

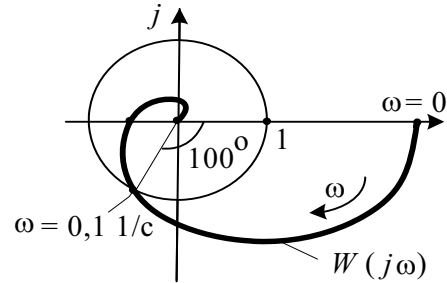


Рис. 9.6, б

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;
- 2) неустойчива;
- 3) на границе устойчивости;
- 4) мало данных.

9.1.14. Устойчива ли приведенная на рис. 9.7 система при

$$W(s) = \frac{2\sqrt{2}}{0,5s+1} \cdot e^{-2s}?$$

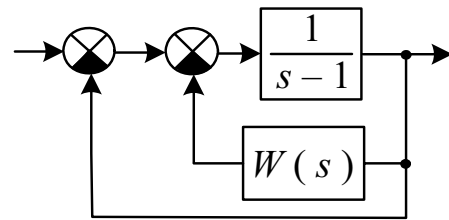


Рис. 9.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;
- 2) неустойчива;
- 3) на границе устойчивости;
- 4) мало данных.

9.1.15. В каком месте следует произвести размыкание системы (рис. 9.8), чтобы получить её передаточную функцию в разомкнутом состоянии вида  $W(s) \cdot e^{-\tau s}$ ?

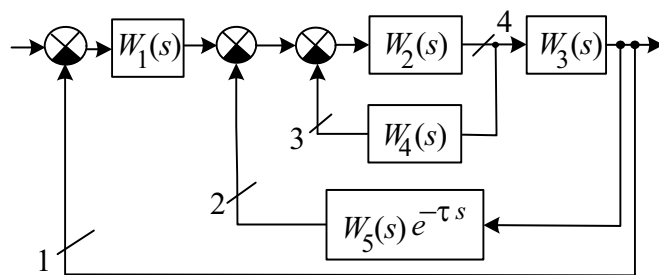


Рис. 9.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4;
- 5) ни в одном из указанных.

## 9.2. Системы с распределенными параметрами

9.2.1. Какие дифференциальные уравнения приводят к иррациональным и трансцендентным передаточным функциям?

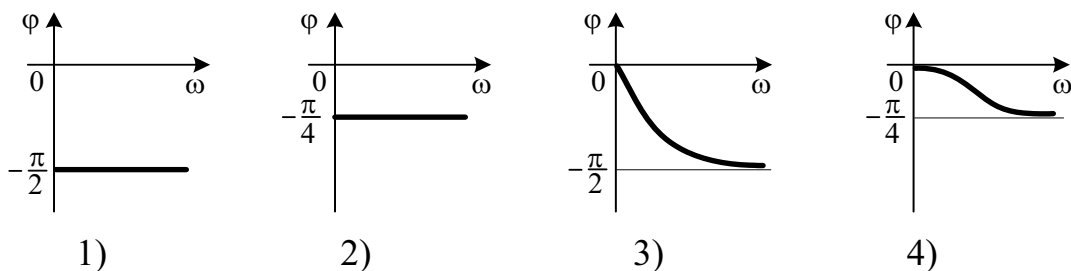
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) обыкновенные с постоянными коэффициентами;
- 2) линейные с переменными коэффициентами;
- 3) с частными производными;
- 4) нелинейные с переменными коэффициентами;
- 5) разностные с переменными коэффициентами.

9.2.2. Каков вид фазовой частотной характеристики звена с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k}{\sqrt{s}} ?$$

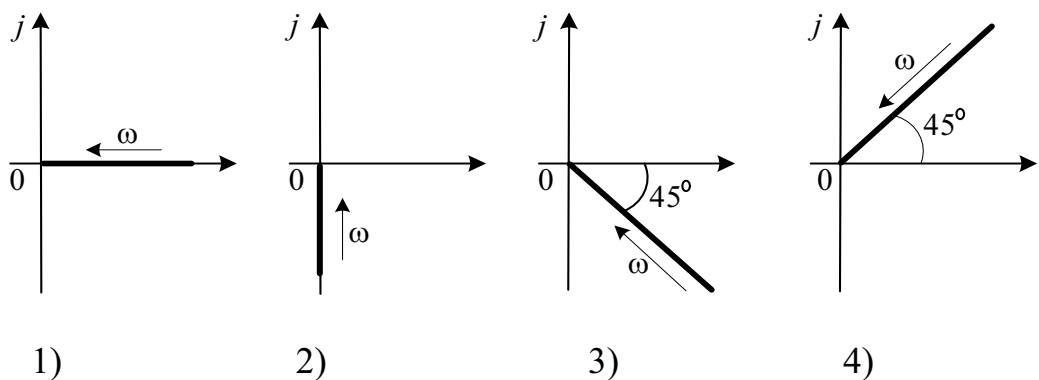
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



9.2.3. Какой вид имеет амплитудно-фазовый годограф звена с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k}{\sqrt{s}} ?$$

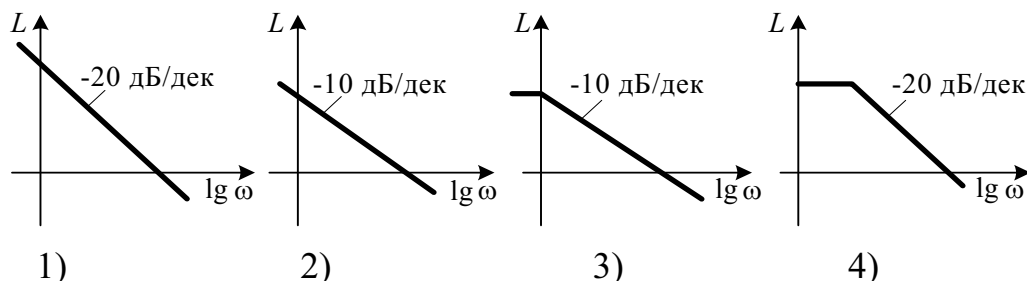
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



9.2.4. Какой вид имеет логарифмическая амплитудно-частотная характеристика звена, описываемого передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k}{\sqrt{s}}?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



9.2.5. Найдите аналитическое выражение для амплитудно-частотной характеристики звена с передаточной функцией

$$W(s) = e^{-\sqrt{2s}}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $e^{-\sqrt{\omega}}$ ;    2)  $e^{-\sqrt{2\omega}}$ ;    3)  $e^{-\sqrt{0,5\omega}}$ ;    4)  $e^{\sqrt{2\omega}}$ ;    5) 1.

9.2.6. Найдите аналитическое выражение для фазовой частотной характеристики звена с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{k}{1 + \sqrt{Ts}}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $-\arctg \frac{T\omega}{2}$ ;    3)  $-\sqrt{\frac{T\omega}{2}}$ ;    5)  $-\arctg \frac{\sqrt{T\omega}}{\sqrt{2+T\omega}}$ .  
 2)  $-\arctg \sqrt{T\omega}$ ;    4)  $-\arctg \frac{T\omega}{\sqrt{2+T\omega}}$ ;

9.2.7. Найдите приближенное выражение для амплитудно-фазовой частотной характеристики звена с передаточной функцией

$$W(s) = \text{th } s\tau = \frac{e^{\tau s} - e^{-\tau s}}{e^{\tau s} + e^{-\tau s}}$$

в области малых значений  $\omega\tau$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\omega\tau$ ;    2)  $e^{j\omega\tau}$ ;    3)  $e^{-j\omega\tau}$ ;    4)  $1 - j\omega\tau$ ;    5)  $j\omega\tau$ .

9.2.8. Каков порядок передаточной функции

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0},$$

которая соответствует условию  $n \geq m + 1$  и обеспечивает точное выполнение равенства  $W(s) = \frac{K}{\sqrt{T s + 1}}$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;            2)  $K$ ;            3)  $\infty$ ;            4) мало данных.

9.2.9. Устойчива ли система (рис. 9.9 а) с приведенным на рис. 9.9 б амплитудно-фазовым годографом  $W_0(j\omega)$ ?

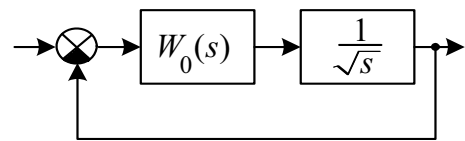


Рис. 9.9 а

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;  
2) неустойчива;  
3) на границе устойчивости;  
4) мало данных.

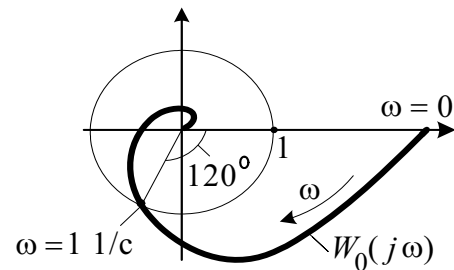


Рис. 9.9 б

9.2.10. Устойчива ли система (рис. 9.10), если

$$W(s) = \frac{2}{(s+1)^3} \cdot \sqrt{\frac{2}{s}}?$$

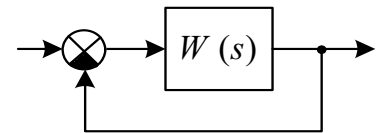


Рис. 9.10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;            2) неустойчива;            3) на границе устойчивости.

9.2.11. Устойчива ли система (рис. 9.11), если

$$W(s) = \frac{10}{s} \cdot e^{-\sqrt{2}s}?$$

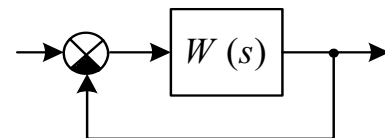


Рис. 9.11

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;            2) неустойчива;            3) на границе устойчивости.



### 9.3. Системы с переменными и с интервально-определенными параметрами

**9.3.1.** Функция веса системы с переменными параметрами имеет вид

$$w(t-v, v) = \frac{e^{-\alpha(t-v)}}{t}.$$

Каким выражением описывается нормальная функция веса?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \frac{e^{-\alpha t_0}}{t_0} e^{\alpha v}, \quad t_0 = \text{const}; \quad 3) \frac{e^{-\alpha \theta}}{t_0}, \quad \theta = t_0 - v, \quad t_0 = \text{const};$$

$$2) e^{\alpha v_0} \frac{e^{-\alpha t}}{t}, \quad v_0 = \text{const}; \quad 4) \frac{e^{-\alpha t}}{t+v}; \quad 5) \frac{e^{\alpha v}}{t}.$$

**9.3.2.** Задана функция веса системы с переменными параметрами:

$$w(t-v, v) = \frac{e^{-\alpha(t-v)}}{t}.$$

Чему равна соответствующая ей сопряженная функция веса?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) e^{\alpha v_0} \frac{e^{-\alpha t}}{t}, \quad v_0 = \text{const}; \quad 3) \frac{e^{-\alpha \tau}}{v_0 + \tau}, \quad \tau = t - v_0, \quad v = \text{const};$$

$$2) \frac{e^{-\alpha t_0}}{t_0} e^{\alpha v}, \quad t_0 = \text{const}; \quad 4) \frac{1}{t} e^{\alpha v} \quad 5) \frac{e^{-\alpha \tau}}{t+v}.$$

**9.3.3.** На входе системы с переменными параметрами, описываемой функцией веса  $w(t-v, v)$ , действует сигнал  $f(t)$ . Каково выражение, определяющее полный сигнал на выходе системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \int_0^t w(t-v, v) \cdot f(t) dt; \quad 3) w(t-v, v) \cdot f(t);$$

$$2) \int_0^v w(t-v) \cdot f(v) dv; \quad 4) \int_0^\infty w(t-v, v) \cdot f(v) dv.$$

9.3.4. Система с переменными параметрами описывается уравнением

$$t \frac{dx}{dt} + a_1 x = f(t).$$

Определите функцию веса системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $v^{a_1-1}/t^{a_1}$ ; 2)  $a_1^t v$ ; 3)  $\frac{v}{t^{a_1}}$ ; 4)  $v^{a_1}(t-1)$ ; 5)  $v^t(a_1-1)$ .

9.3.5. Система с переменными параметрами описывается дифференциальным уравнением  $(0,9 + 0,1 t) \frac{dx}{dt} + x = f(t)$ . На вход системы,

имеющей нулевые начальные условия, в момент времени  $t = v = 1$  поступает сигнал  $f(t) = 1(t - v)$ . Найдите первое приближение решения уравнения  $x_1(\tau) = x_1(t - v)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $2 e^{-0,5 \tau}$ ; 3)  $1 - e^{-\tau}$ ; 5)  $0,9 e^{-\tau}$ .  
 2)  $0,1 \tau + 1,9 e^{-\tau}$ ; 4)  $\tau - 0,1 e^{-\tau}$ ;

9.3.6. Система с переменными параметрами описывается уравнением

$$(0,9 + 0,1 t) \frac{dx}{dt} + x = f(t).$$

На вход системы, имеющей нулевые начальные условия, в момент времени  $t = v = 1$  поступает ступенчатая функция  $f(t) = 1(t - v)$ . Найдите дифференциальное уравнение для определения поправки  $x_2(\tau) = x_2(t - v)$  второго приближения решения  $x(t)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{dx_2}{d\tau} + x_2 = -0,1 \tau \frac{dx_1}{d\tau}$ ; 4)  $\frac{dx_2}{d\tau} + x_2 = 1(\tau)$ ;  
 2)  $0,9 \frac{dx_2}{d\tau} + x_2 = 1(\tau)$ ; 5)  $x_2(\tau) = 0,1 \tau \frac{dx_1}{d\tau}$ .  
 3)  $0,9 \frac{dx_2}{d\tau} + x_2 = x_1(\tau)$ ;

**9.3.7.** Каким выражением определяется параметрическая АФЧХ системы, описываемой весовой функцией  $w(t-v, v)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll}
 1) \int_0^t w(t-v, v) e^{-j\omega t} dt; & 3) \int_0^\infty w(t-v, v) e^{-j\omega v} dv; \\
 2) \int_{-\infty}^t w(t-v, v) e^{-j\omega(t-v)} dv; & 4) \int_{-\infty}^t w(\omega-t) e^{-j\omega t} d\omega.
 \end{array}$$

**9.3.8.** Система с переменными параметрами описывается уравнением

$$\frac{dx}{dt} + 2tx = (1+t)f.$$

Найдите дифференциальное уравнение для определения параметрической передаточной функции  $W(s, t)$  системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{l}
 1) s \frac{dW(s, t)}{dt} + 2tW(s, t) = 1+t; \\
 2) (s+2t) \frac{dW(s, t)}{ds} + W(s, t) = 1; \\
 3) \frac{dW(s, t)}{dt} + 2tW(s, t) = 0; \\
 4) \frac{dW(s, t)}{dt} + (s+2t)W(s, t) = 1+t.
 \end{array}$$

**9.3.9.** Система с переменными параметрами описывается уравнением

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (0,9 + 0,1t) \frac{dx}{dt} + x = (1 + 0,2t) f(t).$$

Определите передаточную функцию системы с «замороженными» коэффициентами.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll}
 1) \frac{0,2}{s^2 + s + 1}; & 3) \frac{0,2t}{(0,9 + 0,1T)s}; \quad 5) \frac{1 + 0,2t}{s^2 + (0,9 + 0,1t)s + 1}. \\
 2) \frac{1}{s^2 + 0,9s + 1}; & 4) \frac{1}{s^2 + (0,9 + 0,1t)s + 1};
 \end{array}$$

**9.3.10.** Квазистационарная система с переменными параметрами описывается уравнением

$$0,1 \frac{d^3 x}{dt^3} + 4 \frac{d^2 x}{dt^2} + (52 - 0,1t) \frac{dx}{dt} + 500x = 100 f(t).$$

Оцените устойчивость системы за время работы  $T = 100$  с.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**9.3.11.** Замкнутая система с переменными параметрами имеет единичную отрицательную обратную связь и описывается передаточной

функцией  $W(s, t) = \frac{a}{s + a + bt}$ . Определите коэффициент ошибки

$c_0(t)$  представления её передаточной функции по ошибке  $\varepsilon(t)$  в ряд вида

$$W_\varepsilon(s) = c_0(t) + c_1(t)s + c_2(t)s^2 + \dots$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                |                          |                         |                             |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1) $\frac{bt^2}{1 + a + bt}$ ; | 2) $\frac{bt}{a + bt}$ ; | 3) $\frac{a}{a + bt}$ ; | 4) $\frac{a}{(a + bt)^2}$ . |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|

**9.3.12.** Система с интервально-определенными параметрами имеет характеристическое уравнение

$$[a_2]s^2 + [a_1]s + 10 = 0,$$

где  $3 \leq [a_2] \leq 5$ ,  $-2 \leq [a_1] \leq 4$ . Гарантирована ли устойчивость состояний и процессов в данной системе?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |        |         |                 |
|--------|---------|-----------------|
| 1) да; | 2) нет; | 3) мало данных. |
|--------|---------|-----------------|

**9.3.13.** Система автоматического регулирования имеет характеристическое уравнение

$$0,1 s^3 + 5 s^2 + [a] s + 1 = 0,$$

в котором интервально-определенный параметр  $[a]$  удовлетворяет условию  $0,6 \leq [a] \leq 4$ . Оцените устойчивость этой системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |               |                 |                 |
|---------------|-----------------|-----------------|
| 1) устойчива; | 2) неустойчива; | 3) мало данных. |
|---------------|-----------------|-----------------|

**9.3.14.** Гарантирована ли устойчивость состояний и процессов в системе, характеристическое уравнение которой

$$[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0,$$

если  $0,5 \leq [a_3] \leq 4$ ;  $0,4 \leq [a_2] \leq 1,4$ ;  $4 \leq [a_1] \leq 20$ ;  $2 \leq [a_0] \leq 10$ ?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) гарантирована;
- 2) не гарантирована;
- 3) не при всех соотношениях параметров.

**9.3.15.** Используя предложенные Л. Фахун критерии устойчивости систем с интервально-определенными параметрами [5] (приложение 2), сделайте заключение об устойчивости состояний равновесия и процессов в системе с характеристическим уравнением

$$[a_4]s^4 + [a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0,$$

полагая, что

$$\begin{aligned} 0,1 \leq [a_4] \leq 3; & \quad 0,5 \leq [a_3] \leq 4; & \quad 0,4 \leq [a_2] \leq 1,4; \\ 4 \leq [a_1] \leq 20; & \quad 2 \leq [a_0] \leq 10. \end{aligned}$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) устойчивы;
- 2) неустойчивы;
- 3) критерии Л. Фахун не позволяют сделать категоричное заключение об устойчивости или неустойчивости.

**9.3.16.** Используя предложенные Л. Фахун критерии устойчивости систем с интервально-определенными параметрами [5] (приложение 2), выскажите заключение об устойчивости состояний равновесия и процессов в системе с характеристическим уравнением

$$[a_4]s^4 + [a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0,$$

если

$$\begin{aligned} 0,5 \leq [a_4] \leq 1,5; & \quad 0,6 \leq [a_3] \leq 0,9; & \quad 0,8 \leq [a_2] \leq 2,4; \\ 1 \leq [a_1] \leq 2; & \quad 10 \leq [a_0] \leq 15. \end{aligned}$$

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) устойчивы;
- 2) неустойчивы;
- 3) критерии Л. Фахун не позволяют сделать категоричное заключение об устойчивости или неустойчивости.

**9.3.17.** Оцените устойчивость состояний и процессов в непрерывной по времени системе, характеристическое уравнение которой

$$[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0,$$

если  $0,5 \leq [a_3] \leq 1$ ;  $1 \leq [a_2] \leq 1,4$ ;  $10 \leq [a_1] \leq 20$ ;  $3 \leq [a_0] \leq 6$ , используя критерий Juang и Shao [6] (см. приложение 2).

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) устойчивы;
- 2) неустойчивы;
- 3) устойчива, но не при всех соотношениях параметров.

**9.3.18.** Достаточными, необходимыми или необходимыми и достаточными являются условия критериев устойчивости В. Л. Харитоновой [8] (см. приложение 2) для линейных систем с интервально-определенными параметрами?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) достаточными;
- 2) необходимыми;
- 3) необходимыми и достаточными;
- 4) мало данных.

**9.3.19.** Оцените устойчивость системы с характеристическим уравнением

$$[a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0,$$

в котором  $0,5 \leq [a_3] \leq 1$ ;  $1 \leq [a_2] \leq 1,4$ ;  $10 \leq [a_1] \leq 20$ ;  $3 \leq [a_0] \leq 6$ , используя критерий устойчивости В. Л. Харитоновой.

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) устойчива;
- 2) неустойчива;
- 3) устойчива, но не при всех соотношениях параметров;
- 4) мало данных.

**9.3.20.** Оцените устойчивость системы с характеристическим уравнением

$$[a_4]s^4 + [a_3]s^3 + [a_2]s^2 + [a_1]s + [a_0] = 0,$$

в котором  $0,1 \leq [a_4] \leq 3$ ;  $0,5 \leq [a_3] \leq 4$ ;  $0,4 \leq [a_2] \leq 1,4$ ;  $4 \leq [a_1] \leq 20$ ;  $2 \leq [a_0] \leq 10$ .

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) устойчива;
- 2) неустойчива;
- 3) устойчива, но не при всех соотношениях параметров.

## 9.4. Системы с амплитудной модуляцией

- 9.4.1.** На вход динамического звена подается амплитудно-модулированный сигнал  $x(t) = A_x \sin \Omega t \cdot \sin \omega_0 t$ . При этом выходной сигнал представляется в виде  $y(t) = A_y \sin(\Omega t + \varphi) \cdot \sin(\omega_0 t + \Psi)$ . Каким выражением определяется АФЧХ звена по огибающей?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $\frac{Y[j(\omega - \Omega)]}{X[j(\omega - \Omega)]}$ ;                | 3) $\frac{Y(j\Omega)}{X(j\Omega)}$ ;                              |
| 2) $\frac{A_y \cdot \sin(\Omega t + \varphi)}{A_x \cdot \sin \Omega t}$ ; | 4) $H(\Omega) e^{j\varphi(\Omega)}$ , где $H = \frac{A_y}{A_x}$ . |

- 9.4.2.** Для звена с амплитудно-фазовой частотной характеристикой  $W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$  определите выражение для синфазной составляющей огибающего сигнала, приняв, что входной сигнал  $x(t) = A_x \sin \Omega t \cdot \sin \omega_0 t$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |  |
|---|--|
| 1) $A_x \left[ \frac{U(\omega_0 + \Omega) - U(\omega_0 - \Omega)}{2} \cdot \cos \Omega t - \frac{V(\omega_0 + \Omega) + V(\omega_0 - \Omega)}{2} \cdot \sin \Omega t \right]$ ; |  |
| 2) $A_x \left[ \frac{U(\omega_0 + \Omega) + U(\omega_0 - \Omega)}{2} \cdot \sin \Omega t + \frac{V(\omega_0 + \Omega) + V(\omega_0 - \Omega)}{2} \cdot \cos \Omega t \right]$ ; |  |
| 3) $A_x \left[ \frac{V(\omega_0 + \Omega) + V(\omega_0 - \Omega)}{2} \cdot \sin \Omega t - \frac{U(\omega_0 + \Omega) - U(\omega_0 - \Omega)}{2} \cdot \cos \Omega t \right]$ . |  |

- 9.4.3.** Каково выражение для амплитудно-фазовой характеристики по огибающей  $W_g(j\Omega)$ , записанное через  $W(j\omega)$ , для случая, когда в выходном сигнале отсутствует квадратурная составляющая?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |  |
|---|--|
| 1) $W \left[ j(\omega_0 + \Omega) \right]$ ;  | 3) $\frac{W \left[ j(\Omega + \omega_0) \right] + W \left[ j(\Omega - \omega_0) \right]}{2}$ ; |
| 2) $W \left[ \frac{\omega_0}{2} \left( j \frac{\Omega}{\omega_0} - j \frac{\omega_0}{\Omega} \right) \right]$ ; | 4) $\frac{W \left[ j(\Omega + \omega_0) \right] - W \left[ j(\Omega - \omega_0) \right]}{2}$ . |

**9.4.4.** Каково выражение для амплитудно-фазовой характеристики по огибающей  $W_{\vartheta}(j\Omega)$ , записанное через АФЧХ для мгновенных значений  $W(j\omega)$ , если

$$\operatorname{Re} W[j(\omega_0 + \Omega)] = \operatorname{Re} W[j(\omega_0 - \Omega)],$$

$$\operatorname{Im} W[j(\omega_0 + \Omega)] = -\operatorname{Im} W[j(\omega_0 - \Omega)]?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $W[j(\omega_0 + \Omega)];$

2)  $\frac{W[j(\Omega + \omega_0)] + W[j(\Omega - \omega_0)]}{2};$

3)  $W\left[\frac{\omega_0}{2}\left(j\frac{\Omega}{\omega_0} - j\frac{\omega_0}{\Omega}\right)\right];$

4)  $\frac{W[j(\Omega + \omega_0)] - W[j(\Omega - \omega_0)]}{2}.$

**9.4.5.** Передаточная функция звена на постоянном токе равна  $W(s)$ . Определите передаточную функцию звена, эквивалентного ему по действию на огибающую амплитудно-модулированного сигнала с несущей  $\omega_0$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $W(s + j\omega_0);$

3)  $W\left[\frac{\omega_0}{2}\left(\frac{s - \omega_0}{s + \omega_0}\right)\right];$

2)  $W\left[\frac{\omega_0}{2}(s + \omega_0)\right];$

4)  $W\left[\frac{\omega_0}{2}\left(\frac{s}{\omega_0} + \frac{\omega_0}{s}\right)\right].$



**9.4.6.** Для звена, имеющего АФЧХ  $W(j\omega) = \frac{K}{1 + j(\omega - \omega_0)T}$ , определите амплитудно-фазовую частотную характеристику по огибающей.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{K}{1 + j\Omega T}$ ;

3)  $\frac{K(1 - j\Omega T)}{1 + j\Omega T}$ ;

2)  $\frac{K(1 + j\omega_0)}{1 + j\Omega T}$ ;

4)  $\frac{K j\Omega T}{1 + j\Omega T}$ .

**9.4.7.** Какую передаточную функцию имеет двойной Т-образный RC-контур (рис. 9.12) по огибающей амплитудно-модулированного сигнала, если частота несущей сигнала  $U_1$  совпадает с резонансной частотой контура?

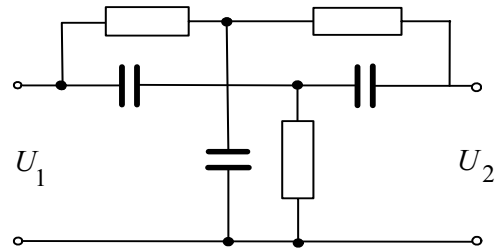


Рис. 9.12

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{K}{T_1 s + 1}$ ;

3)  $\frac{T_1 s}{T_2 s + 1}$ ;

2)  $\frac{K(T_1 s + 1)}{T_2 s + 1}$ ;

4)  $K(T_1 s + 1)$ .

## ГЛАВА 10

### СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО ИХ ЛИНЕЙНЫМ МОДЕЛЯМ

#### 10.1. Выбор схемотехнических решений

**10.1.1.** Какие из перечисленных ниже устройств систем автоматического управления:

- а) объект управления;
  - б) исполнительные устройства;
  - в) измерительные устройства;
  - г) сравнивающие устройства;
  - д) наблюдающие устройства;
  - е) коммутирующие устройства
- полагают входящими в «расширенный объект управления»?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) а, б, в; 2) а, б, в, д; 3) а, б; 4) а, в; д; 5) а, б, в, г, е.

**10.1.2.** Какой эффект обычно стремятся получить в системе автоматического регулирования за счет включения в алгоритм ПИД-регулятора дифференциальной составляющей?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) повысить статическую точность;
- 2) повысить динамическую точность;
- 3) повысить быстродействие системы.

**10.1.3.** Какой эффект обычно стремятся получить в системе автоматического регулирования за счет включения в алгоритм ПИД-регулятора интегральной составляющей?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) повысить статическую точность;
- 2) повысить динамическую точность;
- 3) улучшить качество переходных процессов;
- 4) повысить быстродействие системы.

- 10.1.4.** Какие из ниже следующих эффектов:  
а) снижение статической ошибки;  
б) повышение быстродействия системы;  
в) повышение надежности работы системы  
могут быть достигнуты при замене в САР пропорционального регулятора ПИД-регулятором?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) а;      2) б;      3) в;      4) а, б;      5) все перечисленные.

- 10.1.5.** Какие из нижеследующих преимуществ:  
а) простота настройки;  
б) меньшая чувствительность к шумам измерительных элементов;  
в) большее быстродействие  
имеет ПИ-регулятор по сравнению с ПИД-регулятором?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) а;      2) б;      3) в;      4) б, в;      5) а, б.

- 10.1.6.** Как изменяются свойства системы автоматического регулирования при замене в ней П-регулятора пропорционально-интегральным регулятором?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) снижается статическая ошибка;
- 2) ухудшается устойчивость системы;
- 3) повышается быстродействие системы;
- 4) снижается статическая ошибка и ухудшается устойчивость;
- 5) снижается статическая ошибка и повышается быстродействие.

- 10.1.7.** Каких положительных изменений можно достичь в САР при замене пропорционального регулятора пропорционально-дифференцирующим регулятором?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) существенно снизить статическую ошибку;
- 2) улучшить устойчивость системы;
- 3) повысить быстродействие системы;
- 4) существенно снизить статическую ошибку и улучшить устойчивость системы;
- 5) существенно снизить статическую ошибку и повысить быстродействие системы.

**10.1.8.** Какое управление предпочтительно использовать для поддержания с точностью  $\pm 5\%$  уровня бензина в поплавковой камере карбюратора двигателя внутреннего сгорания автомобиля?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) управление по возмущению;
- 2) управление жесткое;
- 3) управление по отклонению;

**10.1.9.** С какой целью в некоторых следящих системах управления положением радиолокаторов используют тахогенераторы, связанные через повышающие редукторы с валами командных штурвалов?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) для повышения порядка астатизма;
- 2) для обеспечения ковариантности в канале «вход-выход»;
- 3) для повышения быстродействия;
- 4) для повышения качества переходных процессов.

**10.1.10.** Транспортный робот (робокар), для которого необходимо создать систему автоматического управления, предназначен для перевозки тары с заготовками и обработанными деталями в цехе механообработки между станками и складом. Планируется трассы его движения задавать с помощью электрических кабелей, уложенных под полом и подключенных к генератору высокочастотных колебаний. Сколько катушек индуктивности следует выбрать для устанавливаемого на работе устройства, измеряющего отклонения продольной оси робота и центра масс от трассы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) одну;
- 2) две;
- 3) три;
- 4) четыре.

**10.1.11.** Включением каких типовых нелинейных элементов добиваются ограничения внутренних переменных в системах подчиненного регулирования?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) «нечувствительности»;
- 2) «насыщения»;
- 3) «нечувствительности и насыщения»;
- 4) двухпозиционного реле;
- 5) трехпозиционного реле.

**10.1.12.** Связанное или несвязанное управление выходами будет у системы автоматического регулирования объектом с моделью вида «ВХОД-СОСТОЯНИЕ-ВЫХОД»

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & -2 \\ 0 & 0 & -4 \end{bmatrix} \cdot x(t) + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot u(t),$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot x(t),$$

если принять в ней алгоритм управления  $u(t) = y_3(t) - y(t)$ , где  $y_3(t)$  – заданный закон изменения регулируемой величины  $y(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| 1) связанное;           | 4) несвязанное; |
| 2) связанное по $y_1$ ; | 5) мало данных. |
| 3) связанное по $y_2$ ; |                 |

**10.1.13.** Связанное или несвязанное управление выходами будет у системы автоматического регулирования объектом с моделью вида «ВХОД-СОСТОЯНИЕ-ВЫХОД»

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -4 \end{bmatrix} \cdot x(t) + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot u(t),$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 3 \end{bmatrix} \cdot x(t),$$

если реализовать в ней управление

$$u(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot [y_3(t) - y(t)],$$

где  $y_3(t)$  – заданный закон изменения регулируемого выхода  $y(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| 1) связанное по $y_1$ ;         | 4) несвязанное; |
| 2) связанное по $y_2$ ;         | 5) мало данных. |
| 3) связанное по $y_1$ и $y_2$ ; |                 |

**10.1.14.** Можно ли реализовать выбором используемых управляющих воздействий независимое регулирование выходами объекта с математической моделью

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -3 & 0 & 0 \\ 2 & -1 & 0 \\ -5 & 0 & -2 \end{bmatrix} \cdot x(t) + \begin{bmatrix} 0 & 3 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{bmatrix} \cdot u(t),$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot x(t)?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) можно, если выбрать управления  $u_1$  и  $u_2$ ;
- 2) можно, если выбрать управления  $u_2$  и  $u_3$ ;
- 3) можно, если выбрать управления  $u_1$  и  $u_3$ ;
- 4) нельзя.

**10.1.15.** Можно ли обеспечить астатизм системы первого порядка относительно возмущения  $f(t)$  в системе управления объектом без интеграторов (рис. 10.1) за счет использования ПИ-регулятора?

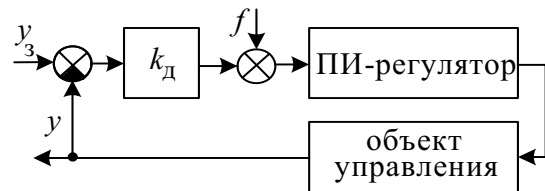


Рис. 10.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) можно;
- 2) нельзя;
- 3) мало данных.

**10.1.16.** Какой типовой регулятор РТ следует включить в контур управления током в приведенной на рис. 10.2 системе регулирования скорости двигателя постоянного тока, чтобы обеспечить в нем технический оптимум?

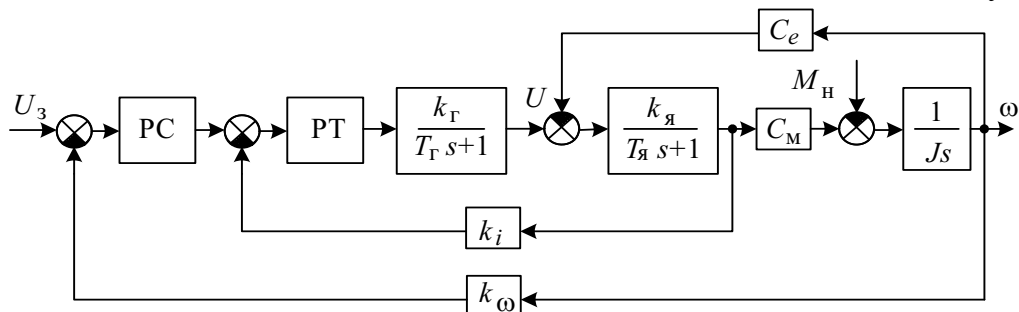


Рис. 10.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) П-регулятор;
- 2) ПД-регулятор;
- 3) ПИ-регулятор;
- 4) ПИД-регулятор;
- 5) ни один из указанных.

**10.1.17.** Какой принцип управления следует использовать для автоматического взвешивания ротора шарового гироскопа в его корпусе с помощью управляемых электромагнитов?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) управление по возмущению;
- 2) управление по отклонению;
- 3) управление жесткое;
- 4) мало данных.

**10.1.18.** Что является причиной невозможности точного решения задачи жесткого управления объектом путем реализации управляющего устройства как прекомпенсатора с передаточной функцией, обратной передаточной функции расширенного объекта управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) инерционность расширенного объекта управления;
- 2) инерционность управляющего устройства;
- 3) нелинейность расширенного объекта управления;
- 4) нелинейность управляющего устройства.

**10.1.19.** Каким схемотехническим решением можно добиться снижения влияния инерционности объекта управления (ОУ) на динамические свойства его системы автоматического регулирования?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) охватом гибкой отрицательной обратной связью ОУ,
- 2) охватом гибкой положительной обратной связью ОУ;
- 3) охватом жесткой отрицательной обратной связью ОУ;
- 4) охватом жесткой положительной обратной связью ОУ.

**10.1.20.** Каким схемотехническим решением можно добиться снижения влияния нелинейности объекта управления (ОУ) на точностные и динамические свойства его системы автоматического регулирования?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) охватом гибкой отрицательной обратной связью ОУ,
- 2) охватом гибкой положительной обратной связью ОУ;
- 3) охватом жесткой отрицательной обратной связью ОУ;
- 4) охватом жесткой положительной обратной связью ОУ.

## 10.2. Параметрическая настройка систем автоматического управления

**10.2.1.** Можно ли повысить точность САУ (рис. 10.3) в статических режимах при использовании регулятора с передаточной функцией

$$W_p(s) = k_{\Pi} + k_{\text{д}}s$$

только за счет подбора параметра  $k_{\text{д}}$ ?

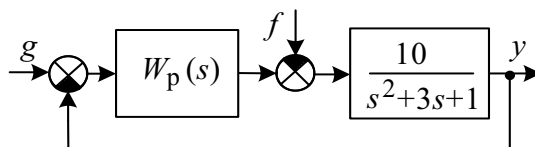


Рис. 10.3

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) можно;                                      2) нельзя;                                      3) мало данных.

**10.2.2.** Определите такое минимальное значение параметра  $k$  угломестной следящей системы (рис. 10.4), при котором её установившаяся ошибка при задающем воздействии

$$y_3(t) = 0,05t \text{ рад/с}$$

не будет превышать 0,03 радиан.

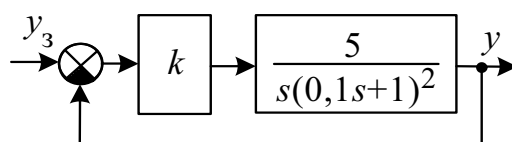


Рис. 10.4

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1)  $k = 20$ ;      2)  $k = 10$ ;      3)  $k = 5$ ;      4)  $k = 4$ ;      5)  $k = 3$ .

**10.2.3.** Подберите из числа указанных в ответах такое минимальное значение параметра  $K$ , при котором длительность переходного процесса при обработке единичного ступенчатого воздействия  $y_3$  в системе (рис. 10.5) не будет превышать одной секунды.

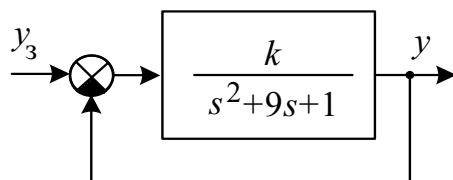


Рис. 10.5

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1)  $k = 5$ ;      2)  $k = 10$ ;      3)  $k = 20$ ;      4)  $k = 40$ ;      5)  $k = 60$ .



**10.2.4.** Определите значения коэффициента  $K_{oc}$  корректирующей обратной связи, при которых представленная на рис. 10.6 система имеет степень устойчивости  $\eta = 1$ .

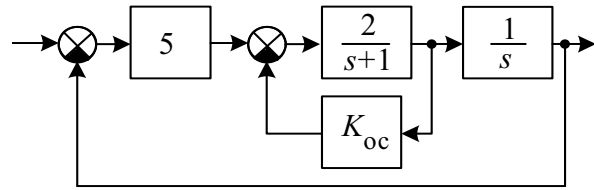


Рис. 10.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 4;    2) 1,5 и 4;    3) 0,5 и 5;    4) 0,5 и 4;    5) 1,5 и 5.

**10.2.5.** Определите такое значение  $y_3$ , при котором обусловленная этим воздействием статическая ошибка в представленной на рис. 10.7 системе автоматической стабилизации  $y(t)$  на заданном уровне  $y_*(t)$  будет равна нулю.

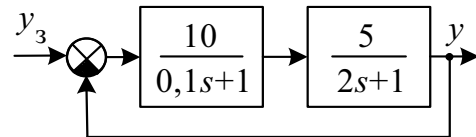


Рис. 10.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $y_3 = \frac{50}{51} y_*$ ;    3)  $y_3 = y_*$ ;    5) задача неразрешима.  
 2)  $y_3 = \frac{51}{50} y_*$ ;    4)  $y_3 = \frac{52}{51} y_*$ ;

**10.2.6.** Определите величину напряжения  $U_{зад}$  в приведенной на рис. 10.8 системе автоматической стабилизации скорости вращения двигателя постоянного тока из условия, что стабилизируемое значение скорости равно 100 рад/с, коэффициент передачи  $k_{дс}$  равен 0,05 В·с/рад, а обусловленная задающим воздействием ошибка стабилизации должна равняться нулю.

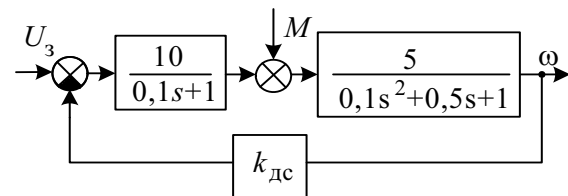


Рис. 10.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,05 В;    2) 5 В;    3) 5,1 В;    4) 7 В;    5) 100 В.

**10.2.7.** Для системы автоматической стабилизации (рис. 10.9) подберите параметр  $k_{\Pi}$  П-регулятора из условия, что будет обеспечена устойчивость системы и её относительная статическая ошибка не будет превышать 1,5 % при диапазоне изменения задающего воздействия  $y_3(t)$  в пределах от 50 до 100, а возмущения  $f(t)$  – в пределах от 0 до 6.

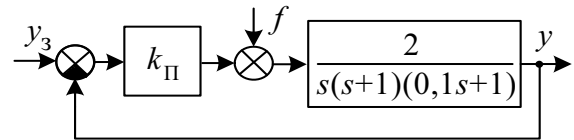


Рис. 10.9

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 3;            2) 5;            3) 10;            4) 50;            5) 100.

**10.2.8.** Определите значение параметра  $T$  корректирующей цепи в представленной на рис. 10.10 системе, обеспечивающее уменьшение длительности периода свободных колебаний в системе до 0,01 с.

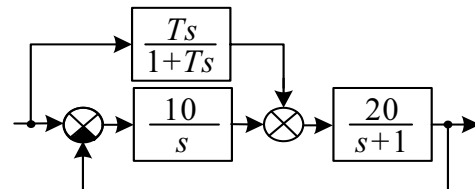


Рис. 10.10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,06;            2) 0,12;            3) 0,16;            4) 0,25;  
5) величина  $T$  на период свободных колебаний не влияет.

**10.2.9.** Укажите расчетные уравнения для определения рабочей частоты и настроек регулятора методом расширенных частотных характеристик в системе с операторно-структурной схемой, представленной на рис. 10.11.

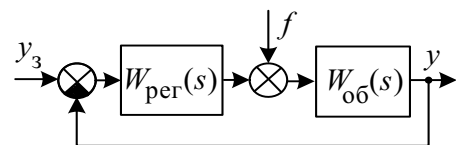


Рис. 10.11

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $|W_{\text{пер}}(-\mu\omega, \omega)| \cdot |W_{\text{об}}(-\mu\omega, \omega)| = 1,$   
 $\arg W_{\text{пер}}(-\mu\omega, \omega) + \arg W_{\text{об}}(-\mu\omega, \omega) = 0;$   
 2)  $|W_{\text{пер}}(\mu\omega)| \cdot |W_{\text{об}}(\mu\omega)| = 1, \quad \arg W_{\text{пер}}(\mu\omega) + \arg W_{\text{об}}(\mu\omega) = 0;$   
 3)  $|W_{\text{пер}}(j\omega)| \cdot |W_{\text{об}}(j\omega)| = 1, \quad \arg W_{\text{пер}}(j\omega) + \arg W_{\text{об}}(j\omega) = 0.$

- 10.2.10.** Определите значение параметра  $k_{И}$  ПИ-регулятора в системе, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 10.12, из условия, что расчетная степень колебательности в системе должна равняться 3, а собственная частота  $\omega_0$  в системе будет равна  $10 \text{ c}^{-1}$ .

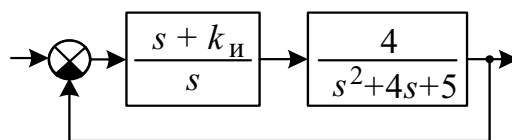


Рис. 10.12

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;      2) 2;      3) 4;      4) 10;      5) 20.

- 10.2.11.** Определить коэффициент обратной связи  $k_{oc}$  для системы (рис. 10.13), при котором в статическом режиме справедливо равенство  $y = y_3$ .

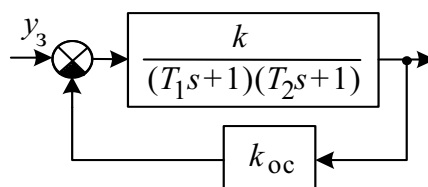


Рис. 10.13

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $k_{oc} = 1$ ;      3)  $k_{oc} = \frac{\kappa - 1}{\kappa}$ ;      5)  $k_{oc} = \frac{1 + \kappa}{\kappa}$ .  
 2)  $k_{oc} = \frac{\kappa}{1 + \kappa}$ ;      4)  $k_{oc} = \frac{1 - \kappa}{\kappa}$ ;

- 10.2.12.** Укажите, какие из перечисленных ниже параметров используются при настройке промышленных регуляторов по методу Никольса–Циглера:

- коэффициент передачи пропорционального регулятора, при котором замкнутая САУ с отрицательной обратной связью оказывается на границе устойчивости;
- заданное значение максимально допустимого перерегулирования в системе;
- допустимое время переходного процесса в системе при обработке единичного ступенчатого воздействия;
- период колебаний в САУ при выходе её на границу устойчивости при пропорциональном законе управления;
- заданное значение степени устойчивости САУ.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) а, б, в;      2) а, г;      3) а, в, г;      4) б, в, д;      5) в, д.

**10.2.13.** Какое значение коэффициента передачи  $K_{\Pi}$  П-регулятора рекомендуется выбирать при его настройке по методу Никольса–Циглера, если предварительно установлено, что критический коэффициент передачи САР с таким регулятором равен  $K_{кр}$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K_{\Pi} = 0,45 K_{кр}$ ;      3)  $K_{\Pi} = 0,5 K_{кр}$ ;      5)  $K_{\Pi} = K_{кр}$ .  
 2)  $K_{\Pi} = 0,65 K_{кр}$ ;      4)  $K_{\Pi} = 0,8 K_{кр}$ ;

**10.2.14.** Какими рекомендуется выбирать по методу Никольса–Циглера параметры  $K_{\Pi}$  и  $T_{и}$  ПИ-регулятора с передаточной функцией

$$W_{\text{ПИ}}(s) = K_{\Pi} + \frac{1}{T_{и}s},$$

если предварительно установлено, что критический коэффициент передачи САР с П-регулятором равен  $K_{кр}$ , а период её колебаний при этом равен  $T$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K_{\Pi} = 0,5 K_{кр}$ ,      3)  $K_{\Pi} = 0,8 K_{кр}$ ,      5)  $K_{\Pi} = 0,65 K_{кр}$ ,  
 $T_{и} = T/2$ ;       $T_{и} = 0,6T$ ;       $T_{и} = 0,6T$ ;  
 2)  $K_{\Pi} = 0,65 K_{кр}$       4)  $K_{\Pi} = 0,45 K_{кр}$ ,  
 $T_{и} = 0,6T$ ;       $T_{и} = T/1,2$ ;

**10.2.15.** Какими рекомендуется выбирать по методу Никольса–Циглера параметры  $K_{\Pi}$ ,  $T_{и}$  и  $T_{д}$  ПИД-регулятора с передаточной функцией

$$W_{\text{ПИД}}(s) = K_{\Pi} + \frac{1}{T_{и}s} + T_{д}s,$$

если предварительно установлено, что критический коэффициент передачи САР с П-регулятором равен  $K_{кр}$ , а период её колебаний при этом равен  $T$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K_{\Pi} = 0,5 K_{кр}$ ,      3)  $K_{\Pi} = 0,45 K_{кр}$ ,      5)  $K_{\Pi} = 0,6 K_{кр}$ ,  
 $T_{и} = T/2$ ,       $T_{и} = 0,8T$ ,       $T_{и} = T/2$ ,  
 $T_{д} = 0,5T$ ;       $T_{д} = 0,5T$ ;       $T_{д} = T/8$ .  
 2)  $K_{\Pi} = 0,5 K_{кр}$ ,      4)  $K_{\Pi} = 0,45 K_{кр}$ ,  
 $T_{и} = 0,5T$ ,       $T_{и} = 0,2T$ ,  
 $T_{д} = 0,6T$ ;       $T_{д} = 0,8T$ ;

### 10.3. Синтез корректирующих устройств по логарифмическим частотным характеристикам

**10.3.1.** Укажите достоинства последовательных корректирующих устройств из числа перечисленных:

- а) относительно просты в реализации;
- б) сравнительно легко обеспечивают существенное изменение свойств корректируемой системы;
- в) обладают высокой стабильностью своих характеристик;
- г) могут быть реализованы сравнительно маломощными и малогабаритными;
- д) их параметры мало зависят от давления, температуры и ряда других эксплуатационных условий;
- е) могут располагаться непосредственно за элементом сравнения.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                   |                   |                |
|-------------------|-------------------|----------------|
| 1) а, б, в, г, д; | 3) а, в, г, д, е; | 5) б, г, д, е. |
| 2) а, б, в, д;    | 4) а, б, г, е;    |                |

**10.3.2.** Укажите недостатки последовательных корректирующих устройств из числа перечисленных:

- а) относительно сложны в реализации;
- б) многие из них чувствительны к высокочастотным помехам;
- в) если реализуются на пассивных электрических элементах, то существенно ослабляют по мощности свой выходной сигнал по сравнению с входным;
- г) если реализуются на пассивных электрических элементах и несущей частоте, то их характеристики весьма чувствительны к изменениям несущей частоты;
- д) не могут быть реализованы сравнительно маломощными и малогабаритными;
- е) могут располагаться непосредственно за элементом сравнения.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                   |                |             |
|-------------------|----------------|-------------|
| 1) а, б, в, г, д; | 3) а, в, г, д; | 5) б, в, г. |
| 2) а, б, в, д;    | 4) а, б, г;    |             |

**10.3.3.** Укажите достоинства корректирующих устройств, реализуемых как обратные связи, из числа перечисленных:

- а) относительно просты в реализации;
- б) уменьшают влияние инерционности, нелинейности и неустойчивости охватываемых ими частей системы на вход-выходные характеристики системы;
- в) обладают высокой стабильностью своих характеристик;
- г) сравнительно легко обеспечивают существенное изменение свойств корректируемой системы;
- д) могут быть реализованы сравнительно маломощными и малогабаритными;
- е) могут обеспечивать жесткие и гибкие обратные связи.

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) а, б, в, д;
- 2) б, г, е;
- 3) а, г, д;
- 4) в, г, д, е;
- 5) б, г, д.

**10.3.4.** Какой участок ЛАЧХ оказывает основное влияние на длительность переходного процесса в системе?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) низкочастотный;
- 2) среднечастотный;
- 3) высокочастотный;
- 4) участок с наклоном – 20 дБ/дек;
- 5) участок с нулевым наклоном.

**10.3.5.** Какой участок ЛАЧХ оказывает основное влияние на перерегулирование системы?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) низкочастотный;
- 2) среднечастотный;
- 3) высокочастотный;
- 4) участок с наклоном – 40 дБ/дек;
- 5) участок с нулевым наклоном.

**10.3.6.** Под каким наклоном рекомендуется проводить среднечастотный участок желаемой ЛАЧХ системы автоматического управления в разомкнутом состоянии?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) 40 дБ/дек;
- 2) 20 дБ/дек;
- 3) 0 дБ/дек;
- 4) – 20 дБ/дек;
- 5) – 40 дБ/дек.

**10.3.7.** Какое из условий является основным при формировании высокочастотной части желаемой ЛАЧХ синтезируемой системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) обеспечение требования по быстродействию;
- 2) обеспечение требования по перерегулированию;
- 3) обеспечение требований по точности;
- 4) максимальная простота корректирующего устройства.
- 5) максимально допустимые ускорения в системе.

**10.3.8.** Какими параметрами определяют низкочастотную часть желаемой ЛАЧХ системы при синтезе для неё корректирующего устройства с использованием логарифмических частотных характеристик?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) желаемым порядком астатизма системы по отношению к задающему воздействию;
- 2) желаемыми порядками астатизма системы по отношению к возмущающим воздействиям;
- 3) статическим коэффициентом передачи (или добротностью) системы в разомкнутом состоянии;
- 4) статическим коэффициентом передачи (или добротностью) системы в разомкнутом состоянии и желаемым порядком астатизма системы по отношению к задающему воздействию.

**10.3.9.** Какое типовое звено можно использовать в САР с приведенной на рис. 10.14 ЛАЧХ в разомкнутом состоянии и единичной ООС для последовательной коррекции, чтобы обеспечить нулевую статическую ошибку и астатизм первого порядка.

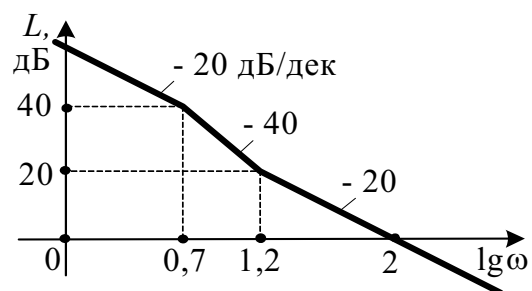


Рис. 10.14

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) изодромное звено;
- 2) интегрирующее звено;
- 3) дифференцирующее звено;
- 4) пропорциональное звено;
- 5) мало данных.

**10.3.10.** Каким типовым звеном можно скорректировать при последовательной коррекции систему с единичной ООС и приведенной на рис. 10.15 ЛАЧХ в разомкнутом состоянии так, чтобы обеспечить нулевую статическую ошибку без изменения среднечастотного и высокочастотного участков заданной ЛАЧХ?

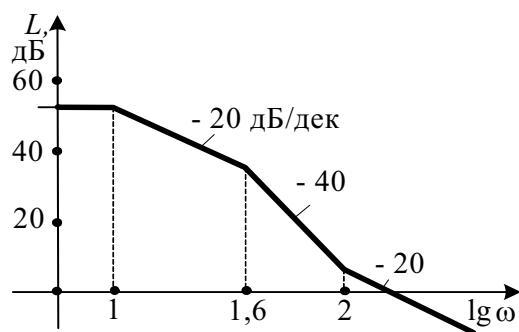


Рис. 10.15

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| 1) интегрирующим;            | 4) изодромным;             |
| 2) дифференцирующим;         | 5) коррекции не требуется. |
| 3) интегро-дифференцирующим; |                            |

**10.3.11.** Что определяет минимально допустимую частоту среза  $\omega_{c \min}$  желаемой ЛАЧХ системы в разомкнутом состоянии?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) максимально допустимое время переходного процесса при обработке задающего воздействия  $g_0 \cdot 1(t)$ ;
- 2) максимально допустимое перерегулирование, заданное в техническом задании на проектирование системы;
- 3) максимально допустимые время переходного процесса и перерегулирование при обработке задающего воздействия  $g_0 \cdot 1(t)$ ;
- 4) максимально допустимые ускорения в системе.

**10.3.12.** Что определяет максимально допустимую частоту среза  $\omega_{c \max}$  желаемой ЛАЧХ системы в разомкнутом состоянии?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) максимально допустимое время переходного процесса при обработке задающего воздействия  $g_0 \cdot 1(t)$ ;
- 2) максимально допустимые время переходного процесса и перерегулирование при обработке задающего воздействия  $g_0 \cdot 1(t)$ ;
- 3) максимально допустимые ускорения в системе.



**10.3.13.** Определите, какое минимальное достижимое время переходного процесса  $t_{\Pi \min}$  можно ожидать в САР при отработке при нулевых начальных условиях входного воздействия  $g_0 \cdot 1(t)$ , если максимально возможное ускорение управляемой переменной в системе  $y(t)$  равно  $\ddot{y}_{\max}$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll}
 1) \ t_{\Pi \min} = \sqrt{\frac{g_0}{\ddot{y}_{\max}}}; & 3) \ t_{\Pi \min} = 2\sqrt{\frac{g_0}{\ddot{y}_{\max}}}; \\
 2) \ t_{\Pi \min} = 2\sqrt{\frac{\ddot{y}_{\max}}{g_0}}; & 4) \ t_{\Pi \min} = \sqrt{\frac{\ddot{y}_{\max}}{g_0}}.
 \end{array}$$

**10.3.14.** Как связаны между собой оптимальное по быстродействию значение частоты среза  $\omega_{c \text{opt}}$  синтезируемой ЛАЧХ системы в разомкнутом состоянии с желаемым временем  $t_{\Pi \min}$  отработки при нулевых начальных условиях задающего воздействия  $g_0 \cdot 1(t)$  и максимально возможном при этом ускорении управляемой переменной в системе  $y(t)$ , равном  $\ddot{y}_{\max}$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll}
 1) \ \omega_{c \text{opt}} = \frac{2}{t_{\Pi \min}} = \sqrt{\frac{\ddot{y}_{\max}}{g_0}}; & 3) \ \omega_{c \text{opt}} = 2\sqrt{\frac{\ddot{y}_{\max}}{g_0}}; \\
 2) \ \omega_{c \text{opt}} = \ddot{y}_{\max} / g_0; & 4) \ \omega_{c \text{opt}} = g_0 / \ddot{y}_{\max}.
 \end{array}$$

**10.3.15.** Как сопрягают низкочастотную и среднечастотную части синтезируемой желаемой ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  системы в разомкнутом состоянии?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) минимизируют число сопрягающих частот  $L_{\text{ж}}(\omega)$ , несовпадающих с сопрягающими частотами ЛАЧХ нескорректированной системы;
- 2) минимизируют число соединяющих эти части прямолинейных отрезков;
- 3) минимизируют наклон соединяющих эти части отрезков;
- 4) используют, как правило, все вышеперечисленные приемы.

**10.3.16.** Каким условиям должна удовлетворять вещественная частотная характеристика  $P(\omega)$  нескорректированной системы в разомкнутом состоянии (рис. 10.16), чтобы процедуру синтеза желаемой ЛАЧХ можно было осуществить по разработанному В. В. Солодовниковым методу и номограммам?

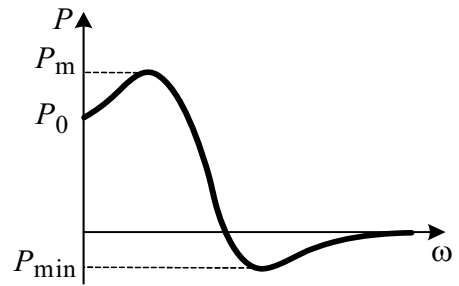


Рис.10.16

В приводимых вариантах ответа  $P_{\max}$  – определяемое из номограмм В. В. Солодовникова по заданным значениям перерегулирования  $\sigma$  и времени переходного процесса  $t_{\Pi}$  расчетное значение максимального уровня  $P(\omega)$  у синтезируемой системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $P(\omega) \leq P_{\max}, P_{\min} \leq 1 - P_{\max}$ ;      3)  $P(\omega) \leq P_0, P_{\min} \leq 1 - P_M$ ;  
 2)  $P(\omega) \leq P_{\max}, P_{\min} \leq P_M - 1$ ;      4)  $P(\omega) \leq P_0, P_{\min} \leq P_M - 1$ .

**10.3.17.** Укажите ЛАЧХ  $L_k(\omega)$  последовательного корректирующего звена, соответствующего заданным исходной  $L_{\text{исх}}(\omega)$  и желаемой  $L_{\text{ж}}(\omega)$  ЛАЧХ системы (рис. 10.17).

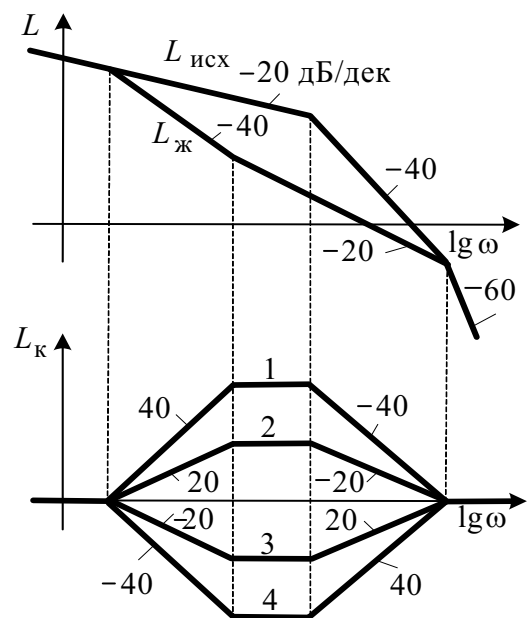


Рис. 10.17

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4; 5) ни одна из приведенных ЛАЧХ.

**10.3.18.** Укажите выражение для передаточной функции последовательного корректирующего звена по представленным на рис. 10.18 исходной  $L_{исх}(\omega)$  и желаемой  $L_{ж}(\omega)$  ЛАЧХ системы.

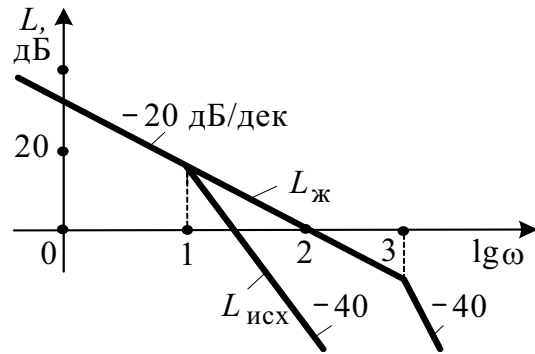


Рис. 10.18

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                            |                               |                           |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1) $\frac{s+1}{0,01s+1}$ ; | 3) $\frac{0,01s+1}{0,1s+1}$ ; | 5) $\frac{0,1s+1}{s+1}$ . |
| 2) $\frac{0,01s+1}{s+1}$ ; | 4) $\frac{0,1s+1}{0,01s+1}$ ; |                           |

**10.3.19.** Для системы автоматического регулирования с единичной отрицательной обратной связью и последовательно включенными в главную цепь устройствами с передаточными функциями  $W_1(s), W_2(s), W_3(s)$  определена, исходя из требований к качеству процессов в системе, передаточная функция  $W_k(s)$  последовательного корректирующего устройства. Если будет принято решение реализовать в системе корректирующую отрицательную обратную связь, охватывающую устройство с передаточной функцией  $W_2(s)$  и эквивалентную по влиянию на систему, оказываемому последовательным корректирующим устройством с  $W_k(s)$ , то каким выражением можно будет определить через  $W_k(s)$  передаточную функцию  $W_{oc}(s)$  корректирующего звена в цепи обратной связи.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $W_{oc}(s) = \frac{1}{W_k(s)} + 1$ ; | 3) $W_{oc}(s) = 1 - \frac{1}{W_k(s)}$ ; |
| 2) $W_{oc}(s) = \frac{1}{W_k(s)} - 1$ ; | 4) $W_{oc}(s) = W_k(s) - 1$ .           |

**10.3.20.** Определите для представленной на рис. 10.19 системы передаточную функцию корректирующей обратной связи  $W_K(s)$ , эквивалентной последовательно-му корректирующему звену с передаточной функцией

$$W_{\Pi}(s) = \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}.$$

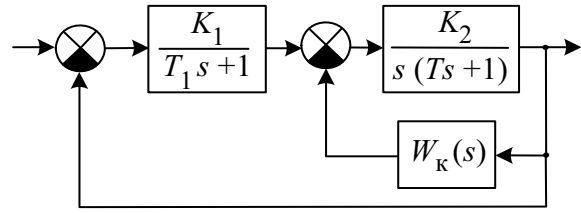


Рис. 10.19

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{T_2 s + 1}{K_2 (T_1 s + 1)}$ ;

2)  $\frac{K_2 s^2}{(T_1 s + 1)(T_2 - T_1)}$ ;

3)  $\frac{(T_2 - T_1) s^2 (T s + 1)}{K_2 (T_1 s + 1)}$ ;

4)  $\frac{(T_1 s + 1)(T s + 1)}{T_2 - T_1}$ .

**10.3.21.** Определите сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 10.20 а), при которых корректирующая цепь имеет ЛАЧХ., представленную на рис. 10.20 б.

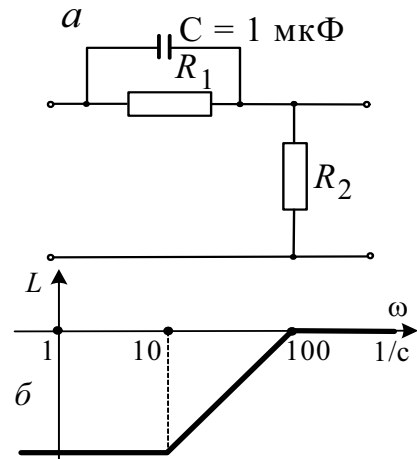


Рис. 10.20

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $R_1 = 100 \text{ кОм}; R_2 = 11 \text{ кОм};$

2)  $R_1 = 10 \text{ мОм}; R_2 = 1,1 \text{ мОм};$

3)  $R_1 = 100 \text{ кОм}; R_2 = 900 \text{ кОм};$

4) сопротивление  $R_1$  выбирается произвольным, а  $R_2$  опреде-

ляется по формуле  $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,1$ .

**10.3.22.** Каким соотношениям должны удовлетворять параметры  $R_1$ ,  $R_2$  корректирующей  $RC$ -цепи (рис. 10.21), сопротивление  $R_i$  источника сигнала и нагрузка  $R_H$ , чтобы при включении цепи в контур регулирования ее постоянные времени практически не изменились?

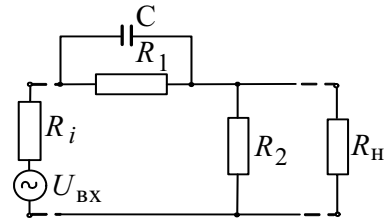


Рис. 10.21

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1) $R_i = R_1$ ; $R_2 = R_H$ ;     | 3) $R_i / R_1$ ; $R_2 / R_H$ ;     |
| 2) $R_i \gg R_1$ ; $R_2 \gg R_H$ ; | 4) $R_i \ll R_1$ ; $R_H \gg R_2$ . |

**10.3.23.** При каких соотношениях параметров корректирующая  $RC$ -цепь электромашиинного усилителя (рис. 10.22) имеет передаточную функцию, приближающуюся к  $W(s) = \frac{RCs}{RCs+1}$ ?

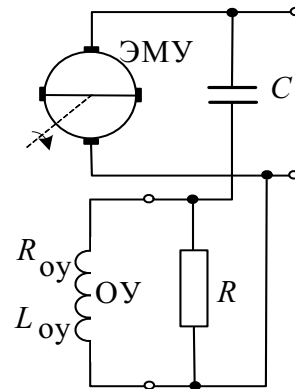


Рис. 10.22

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                     |                    |                     |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------|
| 1) $\frac{L_{оу}}{R_{оу}} \gg RC$ ; | 3) $R_{оу} = R$ ;  | 5) $R_{оу} \gg R$ . |
| 2) $L_{оу} > C$ ;                   | 4) $pL_{оу} > R$ ; |                     |

**10.3.24.** Какие условия следует соблюдать при включении последовательных корректирующих устройств на  $RLC$ -элементах?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) сопротивление источника входного сигнала  $RLC$ -элемента должно быть как можно меньшим;
- 2) сопротивление приемника выходного сигнала  $RLC$ -элемента должно быть как можно бóльшим;
- 3) следует соблюдать оба указанных выше условия.

## 10.4. Модальный синтез систем автоматического управления

**10.4.1.** Что называют «модой системы», описываемой уравнениями в форме «вход-состояние-выход» вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

где  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ,  $y \in R^p$  – соответственно, состояние, вход и выход системы, а  $\lambda_i, i = \overline{1, n}$  – корни её характеристического уравнения  $\det(sI - A) = 0$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) собственное значение матрицы  $A$  состояния системы;
- 2) корень  $\lambda_i, i = \overline{1, n}$  характеристического уравнения системы;
- 3)  $e^{\lambda_i t}$ ;
- 4)  $C_0 e^{\lambda_i t}$ , где  $C_0 = const$ ;
- 5)  $n + m + p$ .

**10.4.2.** Что подразумевают под модальным синтезом системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) выбор структуры и/или параметров системы, исходя из заданных требований к её динамическим свойствам;
- 2) выбор структуры и/или параметров системы, исходя из заданных требований к её точностным свойствам;
- 3) выбор структуры и/или параметров системы, исходя из заданных требований к её точностным и динамическим свойствам;
- 4) выбор мод системы, исходя из требований к её точностным и динамическим свойствам.

**10.4.3.** Сколько полюсов системы можно произвольно назначить при условии, что она вполне управляема, наблюдаема и описывается уравнениями

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

где  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ,  $y \in R^p$  – соответственно, состояние, вход и выход системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| 1) $n$ полюсов;       | 4) $\max(m, p)$ полюсов; |
| 2) $p$ полюсов;       | 5) мало данных.          |
| 3) $(n - m)$ полюсов; |                          |

**10.4.4.** При выполнении какого (или каких) условия задача модального синтеза для объекта, описываемого моделью

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

где  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ,  $y \in R^p$  – соответственно, состояние, вход и выход системы, полностью разрешима, т.е. могут быть назначены желаемым образом все полюса замкнутой САР с алгоритмом управления  $u(t) = y_3 - Kx(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\text{rank } C = n$ ;
- 2)  $\text{rank } C = n$ ,  $\text{rank} \begin{bmatrix} B, AB, A^2B, \dots, A^{n-1}B \end{bmatrix} = n$ ;
- 3)  $\text{rank } B = n$ ,  $\text{rank} \begin{bmatrix} B, AB, A^2B, \dots, A^{n-1}B \end{bmatrix} = n$ .

**10.4.5.** Если объект управления

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

где  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ,  $y \in R^p$  – соответственно, состояние, вход и выход системы, полностью управляем и полностью наблюдаем, при этом  $\text{rank } B = m$ ,  $\text{rank } C = p$ , а управление им реализуется так, что  $u(t) = y_3 - Ky(t)$ , то какое максимальное число  $r$  полюсов замкнутой системы можно разместить произвольно близко к желаемым значениям?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $r = n$ ;
- 2)  $r = m + p$ ;
- 3)  $r = m + p - 1$ ;
- 4)  $r = n - m$ ;
- 5)  $r = n - p$ .

**10.4.6.** Если объект управления

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

где  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ,  $y \in R^p$  – соответственно, состояние, вход и выход системы, полностью управляем и полностью наблюдаем, при этом  $\text{rank } B = m$ ,  $\text{rank } C = p$ , а управление им реализуется так, что  $u(t) = y_3 - Ky(t)$ , то при выполнении какого условия все полюса замкнутой системы можно разместить сколь угодно близко к желаемым значениям?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $m + p = n$ ;
- 2)  $m + p > n$ ;
- 3)  $p > m$ ;
- 4)  $m > p$ ;
- 5)  $m + p < n$ .

**10.4.7.** Управляемый объект, для которого решается задача модального синтеза, описывается уравнениями

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

где  $x \in R^n$ ;  $u \in R^m$ ,  $y \in R^p$  – соответственно, состояние, вход и выход системы. При каком условии (или условиях) задача модального синтеза для него имеет не единственное решение?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |   |
|--|---|
| 1) $m \geq 2$ , $\text{rank } C = n$ ; | 3) $\text{rank } B \geq n$ ;            |
| 2) $\text{rank } C = n$ ;              | 4) $m + p > n$ , $\text{rank } C = n$ . |

**10.4.8.** Чем отличается обобщенная задача модального синтеза от задачи построения закона управления

$$u(t) = y_3 - Ky(t),$$

обеспечивающего замкнутой системе заданный набор корней её характеристического уравнения?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) решением задачи модального синтеза для многомерных по входу и выходу объектов управления;
- 2) назначением не только полюсов, но и нулей синтезируемой системы;
- 3) назначением собственных векторов синтезируемой системы;
- 4) назначением не только собственных значений, но и собственных векторов матрицы состояния синтезируемой системы;
- 5) назначением мод синтезируемой системы при реализации обратной связи не статического, а динамического типа.

**10.4.9.** Чем обусловлен выбор корней характеристического уравнения синтезируемой системы при модальном синтезе симметрично расположенными относительно вещественной оси комплексной плоскости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) желанием получить матрицу обратной связи более простой структуры;
- 2) невозможностью определения матрицы обратной связи при невыполнении этого условия;
- 3) стремлением получить матрицу обратной связи вещественного типа;
- 4) более простым алгоритмом определения матрицы обратной связи.



**10.4.10.** На рис. 10.23 представлено распределение корней характеристического уравнения, принимаемое при модальном синтезе системы 5-го порядка в соответствии с рекомендациями Баттерворта. Определите ожидаемое перерегулирование  $\sigma$  и длительность переходного процесса  $t_{\Pi}$  в синтезируемой системе.

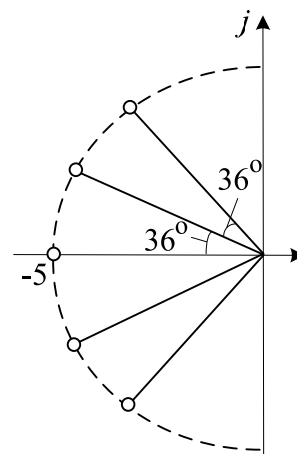


Рис. 10.23

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sigma = 0$ ,  $t_{\Pi} \cong 0,6 \text{ c}$ ;      2)  $\sigma \leq 4\%$ ,  $t_{\Pi} \cong 0,6 \text{ c}$ ;      3)  $\sigma \leq 25\%$ ,  $t_{\Pi} \cong 1,2 \text{ c}$ ;      4)  $\sigma \leq 15\%$ ,  $t_{\Pi} \cong 1,5 \text{ c}$ .

**10.4.11.** Задана модель полностью управляемого объекта

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Определите коэффициенты обратной связи  $k_1$  и  $k_2$  по состоянию объекта, при которых синтезированная САР для этого объекта имеет характеристический полином  $A(s) = s^2 + 4s + 3$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $k_1 = 3, k_2 = 4$ ;      3)  $k_1 = 1, k_2 = 1$ ;      5)  $k_1 = -2, k_2 = -3$ .  
2)  $k_1 = 1, k_2 = 3$ ;      4)  $k_1 = 3, k_2 = 1$ ;

**10.4.12.** Задана модель полностью управляемого объекта

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Определите коэффициенты обратной связи по состоянию  $k_1$  и  $k_2$ , при которых синтезированная для него САР имеет заданное расположение корней характеристического уравнения:  
 $p_1 = -1, p_2 = -3$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $k_1 = 3, k_2 = 4$ ;      3)  $k_1 = -2, k_2 = -3$ ;      5)  $k_1 = 1, k_2 = 1$ .  
2)  $k_1 = 1, k_2 = 3$ ;      4) задача не имеет решения;

**10.4.13.** Расширенный объект управления описывается моделью в форме «вход-состояние-выход» вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t),$$

где  $x \in R^8$ ;  $u \in R^3$ ,  $y \in R^3$  – соответственно, состояние, управление и измеряемый выход системы,  $rank C = 3$ . Определите минимальный порядок  $\mu$  динамического компенсатора, описываемого математической моделью

$$\dot{z}(t) = Rz(t) + Qy(t),$$

при котором реализация управления

$$u(t) = y_3 - Fy(t) - Gz(t)$$

может обеспечить произвольное назначение всех корней характеристического уравнения системы.

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1)  $\mu=1$ ;    2)  $\mu=2$ ;    3)  $\mu=3$ ;    4)  $\mu=4$ ;    5)  $\mu=5$ .

**10.4.14.** Расширенный объект управления описывается моделью в форме «вход-состояние-выход» вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t),$$

где  $x \in R^6$ ;  $u \in R^2$ ,  $y \in R^2$  – соответственно, состояние, вход и измеряемый выход системы, и имеет индекс управляемости  $r_c = 4$  и индекс наблюдаемости  $r_o = 3$ . Определите, каково минимальное число  $v$  составляющих вектора состояния системы необходимо определять с помощью наблюдающего устройства, чтобы в синтезируемой для него системе автоматического управления можно было назначать все собственные значения САР произвольным образом?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1)  $v=1$ ;    2)  $v=2$ ;    3)  $v=3$ ;    4)  $v=4$ ;    5)  $v=6$ .



## ГЛАВА 11

### ИМПУЛЬСНЫЕ И ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 11.1. Общие сведения об импульсных и цифровых системах

11.1.1. Какой вид модуляции реализован в импульсном элементе ИЭ (рис. 11.1)?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) АИМ-1;
- 2) АИМ-2;
- 3) ШИМ-1;
- 4) ШИМ-2;
- 5) ЧИМ.

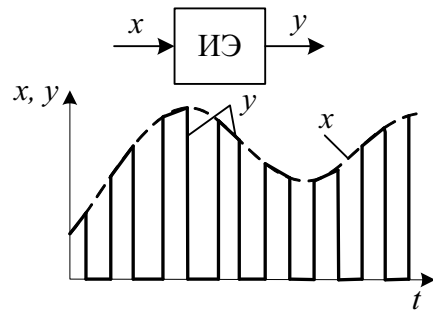


Рис. 11.1

11.1.2. Какой вид модуляции реализован в импульсном элементе ИЭ (рис. 11.2)?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) АИМ-1;
- 2) АИМ-2;
- 3) ШИМ-1;
- 4) ШИМ-2;
- 5) ЧИМ.

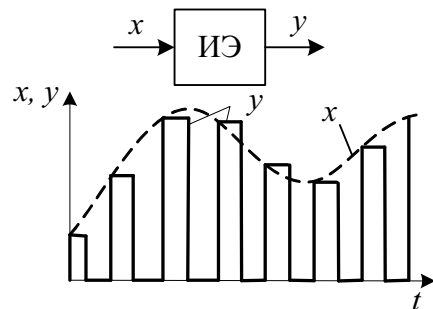


Рис. 11.2

11.1.3. Какой вид модуляции реализован в импульсном элементе ИЭ (рис. 11.3)?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) АИМ-1;
- 2) АИМ-2;
- 3) ШИМ-1;
- 4) ШИМ-2;
- 5) ЧИМ.

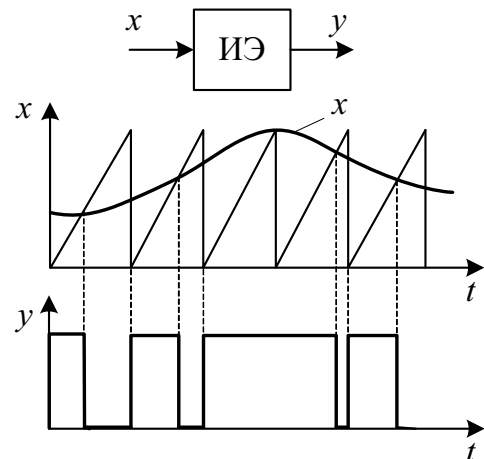


Рис. 11.3

11.1.4. Какой вид модуляции реализован в импульсном элементе ИЭ (рис. 11.4)?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) АИМ-1;
- 2) АИМ-2;
- 3) ШИМ-1;
- 4) ШИМ-2;
- 5) ЧИМ.

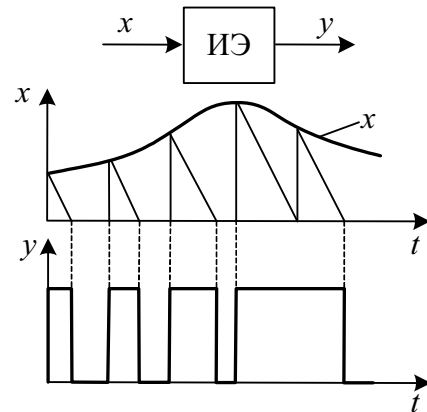


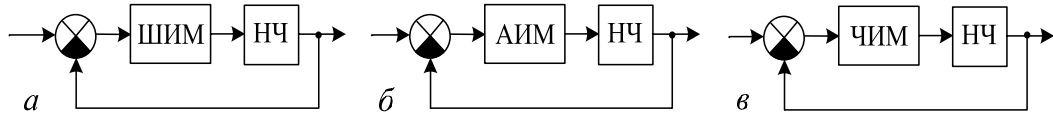
Рис. 11.4

11.1.5. Выполняется ли для широтно-импульсного элемента принцип суперпозиции (наложения)?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) не выполняется;
- 2) выполняется всегда;
- 3) выполняется при некоторых дополнительных условиях.

11.1.6. Которая из импульсных систем является линейной, если статические характеристики широтно-импульсного элемента (ШИЭ), амплитудно-импульсного элемента (АИЭ) и частотно-импульсного элемента (ЧИЭ) линейны и непрерывная часть (НЧ) состоит из линейных звеньев?



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) все системы нелинейны;
- 2) а;
- 3) б;
- 4) в.

11.1.7. Каким выражением описывается сигнал  $x^*(t)$  на выходе идеального импульсного элемента (рис. 11.5), если на вход его подан произвольный сигнал  $x(t)$ ?

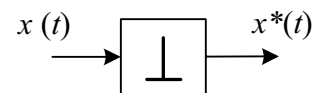


Рис. 11.5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sum_{m=0}^n x(mt) \delta(t-nT)$ ;
- 2)  $\sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \delta(t)$ ;
- 3)  $\sum_{n=0}^{\infty} x(0) \delta(t-nT)$ ;
- 4)  $\sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \delta(t-nT)$ .

**11.1.8.** На вход идеального импульсного элемента (рис. 11.6) с периодом дискретизации  $T = 0,1$  с подан экспоненциальный сигнал  $x(t) = e^{-2t}$  ( $t \geq 0$ ). Каким выражением описывается сигнал  $x^*(t)$ ?

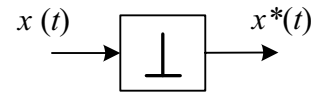


Рис. 11.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\sum_{n=0}^{\infty} e^{-0,2n} \delta(t);$

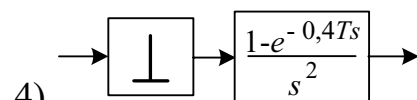
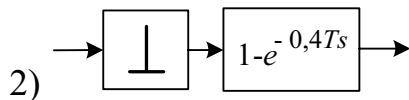
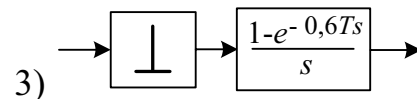
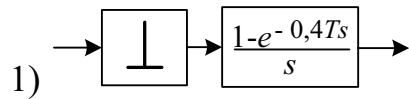
3)  $\sum_{n=0}^{\infty} e^{-20n} \delta(t);$

2)  $\sum_{n=0}^{\infty} e^{-0,2n} \delta(t - nT);$

4)  $\sum_{n=0}^{\infty} e^{-20n} \delta(t - nT).$

**11.1.9.** Какой вид имеет эквивалентная схема амплитудно-импульсного элемента, формирующего прямоугольные импульсы с относительной длительностью  $\gamma = 0,4$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**11.1.10.** Какой вид имеет передаточная функция  $W_{\text{ФНП}}(s)$  фиксатора нулевого порядка?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{1 - e^{-Ts}}{s^2};$

3)  $\frac{e^{-Ts} - 1}{s};$

5)  $1 - e^{-Ts}.$

2)  $\frac{1 - e^{-Ts}}{s};$

4)  $\frac{e^{-Ts} - 1}{s^2};$



## 11.2. Математический аппарат исследования импульсных и цифровых систем

11.2.1. Каким выражением определяется первая прямая разность  $\Delta x[n]$  решетчатой функции  $x[n]$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 1) $x[n] - x[n+1]$ ; | 3) $x[n+1] - x[n]$ ; |
| 2) $x[n] - x[n-1]$ ; | 4) $x[n-1] - x[n]$ . |

11.2.2. Дана решетчатая функция  $x[n] = kT^2 n^2$ . Определите первую прямую разность  $\Delta x[n]$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| 1) $kT^2 (2n+1)$ ; | 4) $2kT^2 (n-1)$ ; |
| 2) $2kT^2 (n+1)$ ; | 5) $2kT^2 n$ .     |
| 3) $kT^2 (2n-1)$ ; |                    |

11.2.3. Дана решетчатая функция  $x[n] = e^{-\alpha T n}$ . Определите первую прямую разность  $\Delta x[n]$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |  |
|---|--|
| 1) $(e^{\alpha T} - e^{-\alpha T}) e^{-\alpha T n}$ ; | 4) $(1 - e^{\alpha T}) e^{-\alpha T n}$ ;  |
| 2) $(e^{\alpha T} - 1) e^{-\alpha T n}$ ;             | 5) $(e^{-\alpha T} - 1) e^{-\alpha T n}$ . |
| 3) $(1 - e^{-\alpha T}) e^{-\alpha T n}$ ;            |  |

11.2.4. Каким выражением определяется первая обратная разность  $\nabla x[n]$  решетчатой функции  $x[n]$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 1) $x[n] - x[n+1]$ ; | 3) $x[n+1] - x[n]$ ; |
| 2) $x[n] - x[n-1]$ ; | 4) $x[n-1] - x[n]$ . |



**11.2.5.** Дана решетчатая функция  $x[n] = kT^2 n^2$ . Определите первую обратную разность  $\nabla x[n]$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1) $kT^2(2n+1)$ ; | 4) $2kT^2(n-1)$ ; |
| 2) $2kT^2(n+1)$ ; | 5) $2kT^2 n$ .    |
| 3) $kT^2(2n-1)$ ; |                   |

**11.2.6.** Дана решетчатая функция  $x[n] = e^{-\alpha T n}$ . Определите первую обратную разность  $\nabla x[n]$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |  |
|---|--|
| 1) $(e^{\alpha T} - e^{-\alpha T}) e^{-\alpha T n}$ ; | 4) $(1 - e^{\alpha T}) e^{-\alpha T n}$ ;  |
| 2) $(e^{\alpha T} - 1) e^{-\alpha T n}$ ;             | 5) $(e^{-\alpha T} - 1) e^{-\alpha T n}$ . |
| 3) $(1 - e^{-\alpha T}) e^{-\alpha T n}$ ;            |  |

**11.2.7.** Определите соотношение между прямой  $\Delta x[n]$  и обратной  $\nabla x[n]$  разностями решетчатой функции  $x[n]$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1) $\Delta x[n-1] = \nabla x[n]$ ;   | 3) $\Delta x[n] = \nabla x[n-1]$ ; |
| 2) $\Delta x[n-1] = \nabla x[n+1]$ ; | 4) $\Delta x[n+1] = \nabla x[n]$ . |

**11.2.8.** Дана решетчатая функция  $x[n] = e^{-\alpha T n}$ ,  $\alpha > 0$ ,  $n \geq 0$ . Определите сумму  $\sigma[n] = \sum_{v=0}^{n-1} x[v]$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |  |                                    |
|--|--|------------------------------------|
| 1) $\frac{1 - e^{-\alpha T (n-1)}}{1 - e^{-\alpha T}}$ ; | 3) $\frac{1 + e^{-\alpha T (n-1)}}{1 - e^{-\alpha T}}$ ; | 5) $\frac{1}{1 - e^{-\alpha T}}$ . |
| 2) $\frac{1 - e^{-\alpha T n}}{1 - e^{-\alpha T}}$ ;     | 4) $\frac{e^{-\alpha T n}}{1 - e^{-\alpha T}}$ ;         |                                    |

**11.2.9.** Представьте разностное уравнение

$$\nabla y[n] + y[n] = x[n]$$

так, чтобы оно не содержало разности решетчатой функции.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $y\{n+1\} = x[n]$ ;                      4)  $y[n] - 0,5y[n-1] = 0,5x[n]$ ;  
 2)  $y[n] + 0,5y[n-1] = 0,5x[n]$ ;      5)  $y\{n+1\} + 2y[n] = 2x[n]$ .  
 3)  $y\{n+1\} + 2y[n] = x[n]$ ;

**11.2.10.** Какой вид имеет формула прямого модифицированного  $z$ -преобразования?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $X(z, \varepsilon) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n, \varepsilon] z^{-n}$ ;      3)  $X(z, \varepsilon) = \sum_{n=0}^{\infty} x[n, \varepsilon] z^{-n}$ ;  
 2)  $X(z, \varepsilon) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n, \varepsilon] z^n$ ;      4)  $X(z, \varepsilon) = \sum_{n=0}^{\infty} x[n, \varepsilon] z^n$ .

**11.2.11.** Какой вид имеет формула обратного модифицированного  $z$ -преобразования?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x[n, \varepsilon] = \frac{1}{2\pi j} \oint_{|z|=\rho} X(z, \varepsilon) z^{n-1} dz$ ;      3)  $x[n, \varepsilon] = \frac{1}{2\pi j} \oint_{|z|=\rho} X(z, \varepsilon) z^n dz$ ;  
 2)  $x[n, \varepsilon] = \frac{1}{2\pi j} \int_0^{\infty} X(z, \varepsilon) z^n dz$ ;      4)  $x[n, \varepsilon] = \frac{1}{2\pi j} \int_0^{\infty} X(z, \varepsilon) z^{n-1} dz$ .

**11.2.12.** Определите  $z$ -изображение решетчатой функции  $x[n] = a \cdot 1[n]$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{z}{z-a}$ ;      2)  $\frac{az}{z-1}$ ;      3)  $\frac{az}{(z-a)^2}$ ;      4)  $\frac{a}{z-1}$ ;      5)  $a$ .

**11.2.13.** Определите  $z$ -изображение решетчатой функции  $x[n] = a \cdot n$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{az}{z-1}$ ;      2)  $a$ ;      3)  $\frac{z}{z-a}$ ;      4)  $\frac{az}{(z-a)^2}$ ;      5)  $\frac{a}{z-1}$ .

**11.2.14.** Определите  $z$ -изображение смещенной решетчатой функции  $x[n+\varepsilon] = a \cdot (n+\varepsilon)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{a\varepsilon z}{(z-1)^2}$ ;      3)  $\frac{az}{(z-1)^2} + \frac{a\varepsilon z}{z-1}$ ;      5)  $\frac{a(1-\varepsilon)z}{(z-1)^2}$ .  
2)  $\frac{a(1+\varepsilon)z}{(z-1)^2}$ ;      4)  $\frac{az}{(z-1)^2} + \frac{a\varepsilon}{z-1}$ ;

**11.2.15.** Определите  $z$ -изображение смещенной решетчатой функции  $x[n, \varepsilon] = e^{a(n+\varepsilon)}$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{1+\varepsilon}{z-e^a}$ ;    2)  $\frac{z(1+\varepsilon)}{z-e^a}$ ;    3)  $\frac{a(1+\varepsilon)z}{z-1}$ ;    4)  $\frac{e^{a\varepsilon}z}{z-e^a}$ ;    5)  $\frac{(a+\varepsilon)z}{z-a}$ .

**11.2.16.** Дано  $z$ -изображение  $X(z) = \frac{z}{z-1}$  решетчатой функции  $x[n]$ .  
Определите решетчатую функцию  $x[n]$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $n$ ;      2)  $n^2$ ;      3)  $1[n]$ ;      4)  $e^{-n}$ ;      5)  $e^n$ .

**11.2.17.** Дано  $z$ -изображение  $X(z) = \frac{z}{(z-1)^2}$  решетчатой функции  $x[n]$ .  
Определите решетчатую функцию  $x[n]$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $1[n]$ ;      2)  $e^{-n}$ ;      3)  $e^n$ ;      4)  $n^2$ ;      5)  $n$ .

**11.2.18.** Чему равно  $z$ -преобразование разности  $m$ -го порядка  $\Delta^m x[n]$ , если  $x[n]=0$  при  $n=0, 1, 2, \dots, m-1$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $z^m X(z)$ ;                      3)  $(z+1)^m X(z)$ ;                      5)  $(z-1)^m X(z)$ .  
 2)  $z^{-m} X(z)$ ;                      4)  $(z+1)^{-m} X(z)$ ;

**11.2.19.** Чему равно  $z$ -преобразование первой прямой разности  $\Delta x[n, \varepsilon]$  смещенной решетчатой функции?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $z X(z, \varepsilon) - x[0]$ ;                      4)  $(z-1)X(z, \varepsilon) - z x[0, \varepsilon]$ ;  
 2)  $(z-1)X(z, \varepsilon) - z x[0]$ ;                      5)  $(z-1)X(z, \varepsilon) - x[0, \varepsilon]$ .  
 3)  $z X(z, \varepsilon) - x[0, \varepsilon]$ ;

**11.2.20.** Чему равно  $z$ -изображение решетчатой функции  $x[n+m]$ , если  $m=1, 2, 3, \dots$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $z^m \left[ X(z) - \sum_{k=0}^{m-1} x[k] z^{-k} \right]$ ;                      3)  $z^m X(z)$ ;  
 2)  $z^m X(z) - \sum_{k=0}^{m-1} x[k] z^{-k}$ ;                      4)  $z^m X(z) + \sum_{k=0}^{m-1} x[k] z^{-k}$ .

**11.2.21.** Чему равно  $z$ -изображение решетчатой функции  $x[n-m]$ ,  $m=1, 2, 3, \dots$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $z^{-m} \left[ X(z) + \sum_{k=1}^{m-1} x[k] z^k \right]$ ;                      3)  $z^{-m} \left[ X(z) + \sum_{k=1}^m x[k] z^k \right]$ ;  
 2)  $z^{-m} X(z)$ ;                      4)  $z^{-m} X(z) + \sum_{k=1}^m x[k] z^k$ .

### 11.3. Разностные уравнения, передаточные функции и частотные характеристики импульсных систем

11.3.1. Импульсная система описывается разностным уравнением

$$y[n] + a_1 y[n-1] + a_2 y[n-2] = b_1 x[n-1].$$

Определите передаточную функцию системы  $W(z) = Y(z)/X(z)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \frac{b_1 z}{a_2 z^2 + a_1 z + 1}; \quad 2) \frac{b_1}{z^2 + a_1 z + a_2}; \quad 3) \frac{b_1}{a_2 z^2 + a_1 z + 1}; \quad 4) \frac{b_1 z}{z^2 + a_1 z + a_2}.$$

11.3.2. Передаточная функция импульсной системы имеет вид

$$W(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{5}{z^2 - 0,5z}.$$

Определите разностное уравнение, связывающее входную  $x[n]$  и выходную  $y[n]$  величины системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) y[n+1] - 0,5 y[n] = 5x[n-2]; \quad 3) y[n-1] - 0,5 y[n] = 5x[n-2]; \\ 2) y[n] - 0,5 y[n-1] = 5x[n-2]; \quad 4) 5y[n-2] = x[n] - 0,5x[n-1].$$

11.3.3. Импульсная характеристика импульсной системы определяется выражением

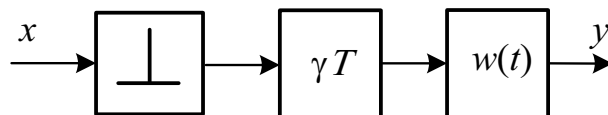
$$w[n] = 2\delta[n] + \delta[n-1] + 0,5\delta[n-2].$$

Определите передаточную функцию  $W(z)$  системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) 2 + z^{-1} + 0,5z^{-2}; \quad 3) 2z^{-2} + z^{-1} + 0,5; \quad 5) \frac{1}{2z^{-2} + z^{-1} + 0,5}. \\ 2) \frac{1}{2 + z^{-1} + 0,5z^{-2}}; \quad 4) \frac{2z + 1 + 0,5z^{-1}}{z - 1};$$

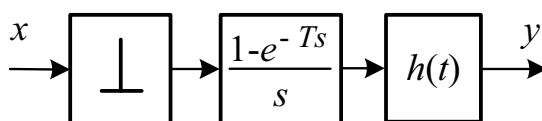
**11.3.4.** Каким выражением определяется передаточная функция  $W_p(z) = Y(z)/X(z)$  разомкнутой импульсной системы с прямоугольными импульсами, если  $\gamma \ll 1$  и непрерывная часть системы описывается импульсной переходной функцией  $w(t)$ ?



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\gamma T Z \{x[n-m]w[m]\}$ ;                      3)  $\gamma T Z \{w[n]\}$ ;  
 2)  $\gamma T Z \{w(t)\}$ ;                                4)  $\gamma T(z-1)Z \{w[n]\}$ .

**11.3.5.** Каким выражением определяется передаточная функция  $W_p(z) = Y(z)/X(z)$  разомкнутой импульсной системы с фиксатором нулевого порядка, если непрерывная часть системы описывается переходной функцией  $h(t)$ ?



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{z-1}{z} Z \{h[n]\}$ ;    3)  $\frac{z+1}{z} Z \{h(t)\}$ ;                      5)  $(z-1)^2 Z \{Th(n)\}$ .  
 2)  $\frac{z-1}{z^2} Z \{h(t)\}$ ;    4)  $\frac{(z-1)^2}{z} Z \{Th(n)\}$ ;

**11.3.6.** Определите передаточную функцию  $W_p(z) = Y(z)/X(z)$  разомкнутой импульсной системы (рис.11.7).

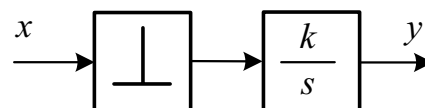


Рис. 11.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{kz}{(z-1)^2}$ ;                      3)  $\frac{k}{(z-1)^2}$ ;                      5)  $\frac{k}{z-1}$ .  
 2)  $\frac{k}{z(z-1)}$ ;                      4)  $\frac{kz}{z-1}$ ;

11.3.7. Определите передаточную функцию

$$W_p(z) = Y(z)/X(z)$$

разомкнутой импульсной системы (рис. 11.8).

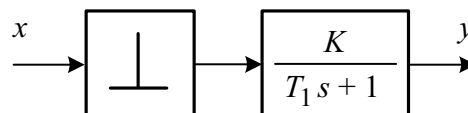
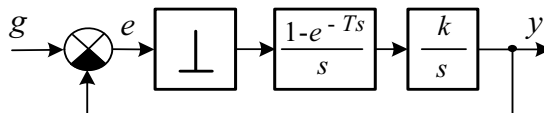


Рис. 11.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{z}{z - e^{-T/T_1}}$ ;      3)  $\frac{kz}{z - e^{-T/T_1}}$ ;      5)  $\frac{k}{T_1} \cdot \frac{z}{z - e^{-T_1/T}}$ .
- 2)  $\frac{k}{T_1} \cdot \frac{z}{z - e^{-T/T_1}}$ ;      4)  $\frac{kz}{z - e^{-T_1/T}}$ ;

11.3.8. Определите передаточную функцию  $W_p(z) = Y(z)/E(z)$  импульсной системы в разомкнутом состоянии.



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{kT}{z(z-1)}$ ;      3)  $\frac{k(z+1)}{z(z-1)}$ ;      5)  $\frac{kT}{z-1}$ .
- 2)  $\frac{kT(1-z)}{z^2}$ ;      4)  $\frac{kT}{z^2}$ ;

11.3.9. Передаточная функция импульсной системы (рис. 11.9) в разомкнутом состоянии имеет вид

$$W_p(z) = \frac{0,5}{(z-1)(z-0,8)}.$$

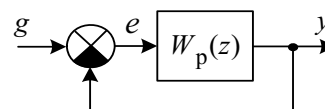


Рис. 11.9

Определите передаточную функцию замкнутой системы

$$W_{yg}(z) = Y(z)/G(z).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{z-0,8}{(z-1)(z-0,8)+0,5}$ ;      3)  $\frac{(z-1)(z-0,8)}{(z-1)(z-0,8)-0,5}$ ;
- 2)  $\frac{(z-1)(z-0,8)}{(z-1)(z-0,8)+0,5}$ ;      4)  $\frac{0,5}{(z-1)(z-0,8)+0,5}$ .

11.3.10. Передаточная функция импульсной системы (рис. 11.10) в разомкнутом состоянии имеет вид

$$W_p(z) = \frac{0,2}{(z-1)(z-0,6)}.$$

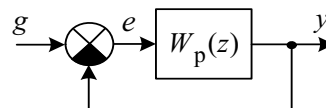


Рис. 11.10

Определите передаточную функцию замкнутой системы

$$W_{eg}(z) = E(z)/G(z).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{z-0,6}{(z-1)(z-0,6)+0,2};$

3)  $\frac{(z-1)(z-0,6)}{(z-1)(z-0,6)-0,2};$

2)  $\frac{(z-1)(z-0,6)}{(z-1)(z-0,6)+0,2};$

4)  $\frac{0,2}{(z-1)(z-0,6)+0,2}.$

11.3.11. Передаточная функция замкнутой импульсной системы (рис. 11.11)

$$W_{yg}(z) = \frac{Y(z)}{G(z)} = \frac{0,2}{z^2 - z + 0,4}.$$

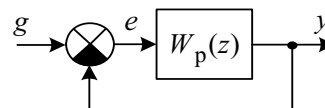


Рис. 11.11

Определите передаточную функцию замкнутой системы

$$W_{eg}(z) = E(z)/G(z).$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{0,2+z-z^2}{z^2-z+0,4};$

3)  $\frac{z^2-z+0,2}{z^2-z+0,4};$

2)  $\frac{z^2-z+0,4}{z^2-z+0,2};$

4)  $\frac{z^2-z+0,6}{z^2-z+0,4}.$

11.3.12. При каких соотношениях между частотой дискретизации  $\omega_0$ , частотой среза  $\omega_c$  приведенной непрерывной части и полосы спектра частот  $\omega$  внешнего воздействия динамические свойства импульсной системы эквивалентны свойствам приведенной непрерывной части?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $0 \leq \omega \leq \omega_0 - \omega_c,$

2)  $\omega_0 \geq 2\omega_c;$

4)  $0 \leq \omega \leq \omega_0,$

$\omega_0 > 2\omega_c;$

3)  $\omega_c \geq 2\omega_0;$

$\omega_0 > 2\omega_c.$



**11.3.13.** Каким выражением определяется связь между амплитудно-фазовой частотной характеристикой  $W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon)$  разомкнутой импульсной системы и весовой функцией  $w_{\Pi}[n, \varepsilon]$  ее приведенной непрерывной части?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-j\bar{\omega} n \varepsilon} w_{\Pi}[n, \varepsilon];$$

$$2) W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-j\bar{\omega} (n+\varepsilon)} w_{\Pi}[n, \varepsilon];$$

$$3) W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-j\bar{\omega} n} w_{\Pi}[n, \varepsilon];$$

$$4) W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-j\bar{\omega} n} w_{\Pi}[n, \varepsilon].$$

**11.3.14.** Каким выражением определяется связь между амплитудно-фазовой частотной характеристикой  $W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon)$  разомкнутой импульсной системы и АФЧХ  $W_{\Pi}(j\bar{\omega}, \varepsilon)$  ее приведенной непрерывной части?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon) = \sum_{r=0}^{\infty} e^{j(\bar{\omega}+2\pi r)\varepsilon} W_{\Pi}[j(\bar{\omega}+2\pi r)];$$

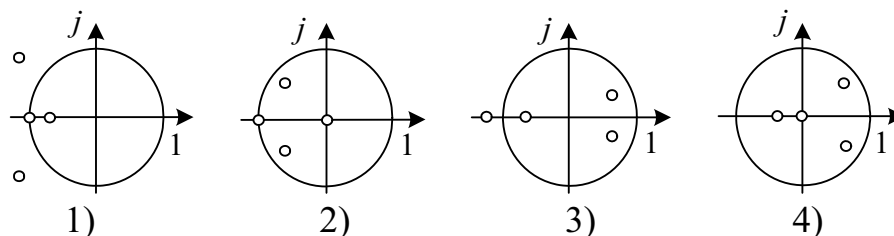
$$2) W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{j\bar{\omega}\varepsilon} W_{\Pi}[j(\bar{\omega}+2\pi r)];$$

$$3) W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{j(\bar{\omega}+2\pi r)\varepsilon} W_{\Pi}[j(\bar{\omega}+2\pi r)];$$

$$4) W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{j\bar{\omega}r\varepsilon} W_{\Pi}[j(\bar{\omega}+2\pi r)].$$

## 11.4. Устойчивость линейных дискретных систем

11.4.1. Какое из приведенных ниже вариантов расположения корней характеристического уравнения импульсной системы соответствует устойчивой системе?



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;      2) 2;      3) 3;      4) 4;      5) во все случаях система неустойчива.

11.4.2. Устойчива ли линейная импульсная система, имеющая заданное на рис. 11.12 расположение корней характеристического уравнения?

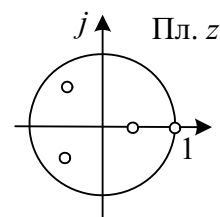


Рис. 11.12

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;      3) на границе устойчивости;  
2) неустойчива;      4) мало данных.

11.4.3. Устойчива ли линейная импульсная система, имеющая заданное на рис. 11.13 расположение корней характеристического уравнения?

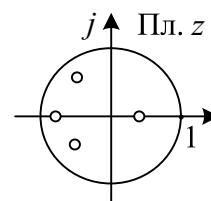


Рис. 11.13

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчива;      3) на границе устойчивости;  
2) неустойчива;      4) мало данных.

**1.4.4.** Устойчива ли линейная импульсная система, имеющая заданное на рис. 11.14 расположение корней характеристического уравнения?

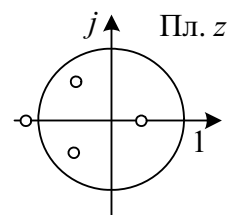


Рис. 11.14

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.5.** Устойчива ли линейная импульсная система 4-го порядка, имеющая заданное на рис. 11.15 расположение корней характеристического уравнения?

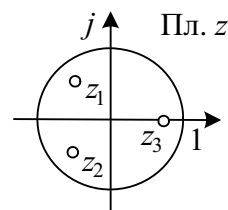


Рис. 11.15

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.6.** Система описывается разностным уравнением

$$y[n+1] + 2y[n] = 1,5g[n].$$

Исследуйте устойчивость системы.

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.7.** Система описывается разностным уравнением

$$y[n+2] - 0,3y[n+1] - 0,4y[n] = g[n].$$

Исследуйте устойчивость этой системы.

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.8.** Какой вид имеет формула конформного отображения круга единичного радиуса плоскости  $z$  (рис. 11.16) в левую полуплоскость плоскости  $w$ ?

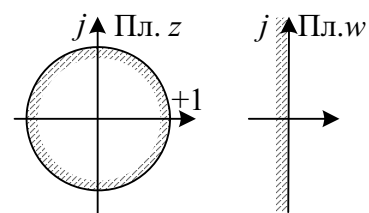


Рис. 11.16

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                            |                            |                          |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1) $z = \frac{w-1}{w+1}$ ; | 3) $z = \frac{1-w}{1+w}$ ; | 5) $z = \frac{w}{1-w}$ . |
| 2) $z = \frac{1+w}{1-w}$ ; | 4) $z = \frac{1+w}{w-1}$ ; |                          |

**11.4.9.** Каковы условия устойчивости импульсной системы с характеристическим уравнением  $z^2 + a_1 z + a_0 = 0$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                         |                         |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1) $1 + a_1 + a_0 > 0,$ | 2) $1 + a_1 - a_0 > 0,$ | 3) $1 + a_1 + a_0 > 0,$ | 4) $1 + a_1 + a_0 > 0,$ |
| $1 - a_0 > 0,$          | $a_0 > 1,$              | $a_0 > 0,$              | $1 - a_0 > 0,$          |
| $1 - a_1 + a_0 > 0;$    | $a_1 + a_0 > 0;$        | $a_1 > 0;$              | $1 + a_1 - a_0 > 0.$    |

**11.4.10.** Исследуйте на устойчивость импульсную систему, если ее характеристическое уравнение имеет вид

$$z^2 - 0,2 z + 0,5 = 0.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.11.** Характеристическое уравнение замкнутой импульсной системы имеет вид

$$z^2 + (0,4k - 1,6)z + 0,6 = 0.$$

Чему равен критический коэффициент усиления системы  $k$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |       |       |         |         |
|-------|-------|-------|---------|---------|
| 1) 8; | 2) 4; | 3) 9; | 4) 2,5; | 5) 1,5. |
|-------|-------|-------|---------|---------|

**11.4.12.** Устойчива ли импульсная система третьего порядка, если её годограф Михайлова  $G(e^{j\bar{\omega}})$  имеет приведенный на рис. 11.17 вид?

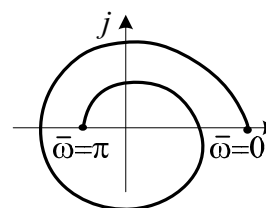


Рис. 11.17

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.13.** Устойчива ли импульсная система третьего порядка, если её годограф Михайлова  $G(e^{j\bar{\omega}})$  имеет приведенный на рис. 11.18 вид?

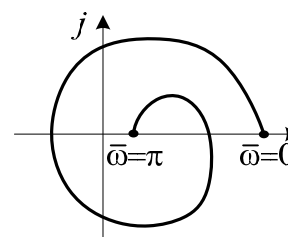


Рис. 11.18

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**10.4.14** Устойчива ли импульсная система третьего порядка, если её годограф Михайлова  $G(e^{j\bar{\omega}})$  имеет приведенный на рис. 11.19 вид?

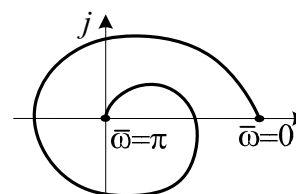


Рис. 11.19

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.15.** Даны годографы Михайлова  $G(e^{j\bar{\omega}})$  различных импульсных систем (рис. 11.20). Какой из них соответствует неустойчивой системе?

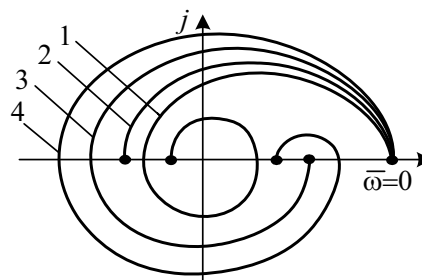


Рис. 11.20

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |       |       |       |   |
|-------|-------|-------|-------|---|
| 1) 1; | 2) 2; | 3) 3; | 4) 4; | 5) все годографы соответствуют устойчивым системам. |
|-------|-------|-------|-------|---|

**11.4.16.** Устойчива ли замкнутая импульсная система с единичной ООС, если ее амплитудно-фазовый годограф  $W_p(e^{j\bar{\omega}})$  в разомкнутом состоянии имеет представленный на рис. 11.21 вид?

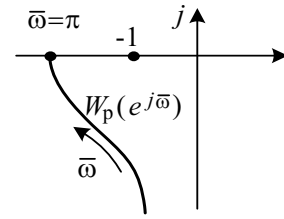


Рис. 11.21

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.17.** Устойчива ли замкнутая импульсная система, если ее амплитудно-фазовый годограф  $W_p(e^{j\bar{\omega}})$  в разомкнутом состоянии имеет представленный на рис. 11.22 вид?

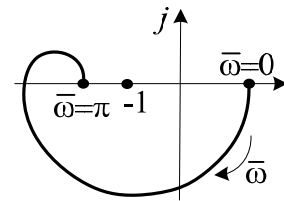


Рис. 11.22

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.18.** Устойчива ли замкнутая импульсная система, если ее амплитудно-фазовый годограф  $W_p(e^{j\bar{\omega}})$  в разомкнутом состоянии имеет представленный на рис. 11.23 вид?

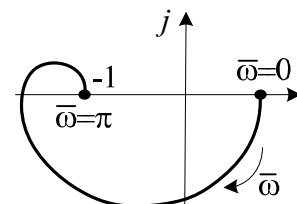


Рис. 11.23

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) устойчива;   | 3) на границе устойчивости; |
| 2) неустойчива; | 4) мало данных.             |

**11.4.19.** Эквивалентная структурная схема системы с ЦВМ при условии, что квантование по уровню не учитывается, состоит из идеального импульсного элемента с периодом квантования  $T$ , фиксатора нулевого порядка и непрерывной части с передаточной функцией  $W_H(s) = K/s$ . Найдите условие устойчивости замкнутой системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                    |                     |                  |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 1) $0 < 4KT < 1$ ; | 3) $(K + 1) < 2T$ ; | 5) $T + 2 > K$ . |
| 2) $2K < T$ ;      | 4) $0 < KT < 2$ ;   |                  |

**11.4.20.** Используя критерий устойчивости Найквиста, определить критический коэффициент передачи  $K_{кр}$  импульсной системы с единичной отрицательной обратной связью, передаточная функция которой в разомкнутом состоянии имеет вид

$$W(z, 0) = \frac{Kd}{z-d}, \text{ где } d = e^{\frac{-T}{T_1}}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;      2)  $\frac{d-1}{d}$ ;      3)  $\frac{1-d}{d}$ ;      4)  $\frac{1+d}{d}$ ;      5)  $\frac{d}{1-d}$ .

**11.4.21.** Как изменится значение критического коэффициента передачи  $K_{кр}$  импульсной системы с единичной отрицательной обратной связью и передаточной функцией в разомкнутом состоянии

$$W(z, 0) = \frac{Kd}{z-d}, \text{ где } d = e^{\frac{-T}{T_1}},$$

если период повторения импульсов  $T$  увеличить?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) останется без изменения;      2) увеличится;      3) уменьшится.

**11.4.22.** Обладает ли структурной устойчивостью дискретная система с приведенной на рис. 11.24 схемой?

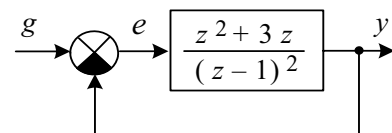


Рис. 11.24

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) обладает;      2) не обладает;      3) мало данных.

**11.4.23.** Стабилизируема ли приведенная на рис. 11.25 система за счет подбора коэффициента  $k$ ?

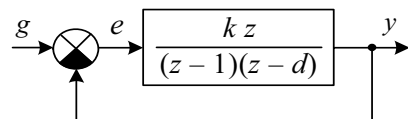


Рис. 11.25

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) стабилизируема;      2) не стабилизируема;      3) мало данных.

## 11.5. Установившиеся режимы в дискретных системах

- 11.5.1.** Каким выражением определяется установившийся процесс  $y[\infty, \varepsilon]$  импульсной системы (рис. 11.26) с передаточной функцией  $W(z, \varepsilon)$  при воздействии  $x[n] = x_0 \cdot 1[n]$ ?

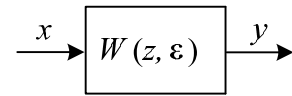


Рис. 11.26

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x_0 W(0, \varepsilon)$ ;      3)  $x_0 W(z, 0)$ ;      5)  $x_0 \sum_{n=0}^{\infty} W(z, \varepsilon) z^{-n}$ .  
 2)  $x_0 \int_0^1 W(0, \varepsilon) d\varepsilon$ ;      4)  $x_0 W(1, \varepsilon)$ ;

- 11.5.2.** Каким выражением определяется установившийся процесс  $y[\infty, \varepsilon]$  импульсной системы (рис. 11.27) с весовой функцией  $w[n, \varepsilon]$  при воздействии  $x[n] = x_0 \cdot 1[n]$ ?

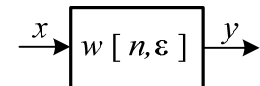


Рис. 11.27

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x_0 w[n, 0]$ ;      3)  $x_0 \int_0^1 w[n, \varepsilon] d\varepsilon$ ;      5)  $x_0 \int_0^1 w[0, \varepsilon] d\varepsilon$ .  
 2)  $x_0 \sum_{n=0}^{\infty} w[n, \varepsilon]$ ;      4)  $x_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} z^{-n} w[n, \varepsilon]$ ;

- 11.5.3.** Каким выражением определяется установившийся процесс  $y[\infty, \varepsilon]$  в разомкнутой импульсной системе, если приведенная непрерывная часть системы описывается АФЧХ  $W(j\bar{\omega})$  и на входе системы действует сигнал  $x[n] = x_0 \cdot 1[n]$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x_0 \sum_{r=-\infty}^{\infty} e^{j2\pi r \varepsilon} W(j2\pi r)$ ;      3)  $x_0 \int_0^{\infty} W(j\bar{\omega}) d\bar{\omega}$ ;  
 2)  $x_0 \sum_{r=-\infty}^{\infty} W(j2\pi r)$ ;      4)  $x_0 \sum_{r=0}^{\infty} e^{jr\varepsilon} W(j2\pi r)$ .



**11.5.4.** Определите выражение установившегося процесса  $y[\infty, \varepsilon]$  в амплитудно-импульсной системе (рис. 11.28) при воздействии  $x[n] = 1[n]$ .

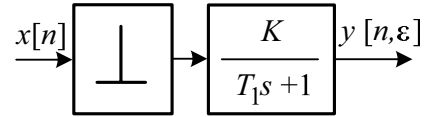


Рис. 11.28

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K e^{-(T/T_1)\varepsilon}$ ;    2)  $\frac{K}{T_1 \varepsilon + 1}$ ;    3)  $\frac{K}{T_1} \frac{1}{1 - e^{-T/T_1}} e^{-(T/T_1)\varepsilon}$ ;  
 4)  $K \frac{1}{1 - e^{-T/T_1}} e^{-(T/T_1)\varepsilon}$ ;    5)  $\frac{K \varepsilon}{T_1} \frac{1}{1 - e^{-T/T_1}}$ .

**11.5.5.** На вход амплитудно-импульсной системы (рис. 11.29) с мгновенными импульсами подается ступенчатое воздействие  $U_1(t) = 1(t)$ . Какой вид имеет установившийся процесс?

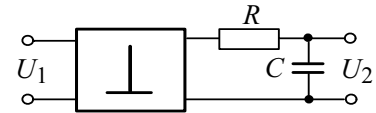
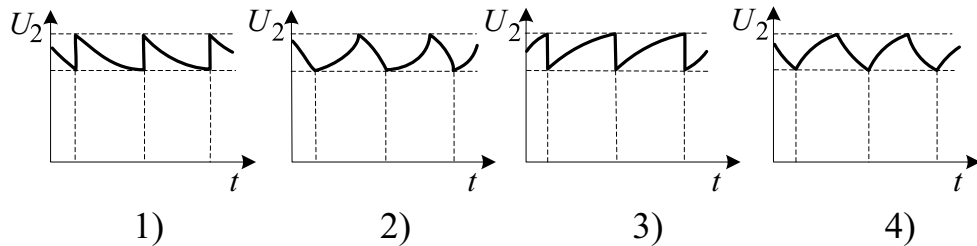


Рис. 11.29

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**11.5.6.** На вход амплитудно-импульсной системы (рис. 11.30) с импульсным элементом, создающим прямоугольные импульсы ( $0 < \gamma < 1$ ), подается ступенчатое воздействие  $U_1(t) = 1(t)$ . Какой вид имеет установившийся процесс?

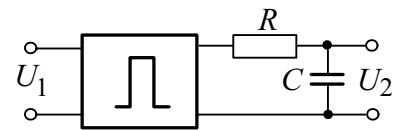
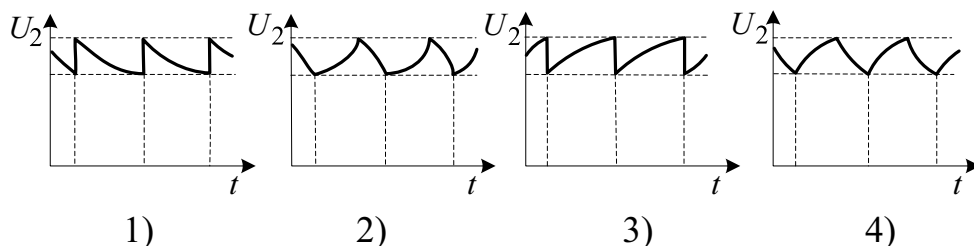


Рис. 11.30

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**11.5.7.** Каким выражением описывается установившийся процесс на выходе импульсной системы с передаточной функцией  $W(z, \varepsilon)$  при гармоническом воздействии  $x[n] = x_m \cdot e^{j(\bar{\omega}n + \Psi)}$  ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x_m W(j\bar{\omega}, \varepsilon) e^{j(\bar{\omega}n + \Psi)}$ ;      4)  $x_m |W(j\bar{\omega}, \varepsilon)| \sin(\bar{\omega}n + \Psi)$ ;  
 2)  $x_m \operatorname{Re} W(j\bar{\omega}, \varepsilon) e^{j\bar{\omega}n}$ ;      5)  $x_m W(0, \varepsilon) e^{j(\bar{\omega}n + \Psi)}$ .  
 3)  $x_m |W(j\bar{\omega}, \varepsilon)| e^{j(\bar{\omega}n + \Psi)}$ ;

**11.5.8.** На вход амплитудно-импульсной системы (рис. 11.31) с мгновенными импульсами подается линейно изменяющееся воздействие  $U_1(t) = U_0 \cdot t$ . Какой вид имеет установившийся процесс?

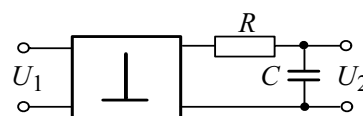
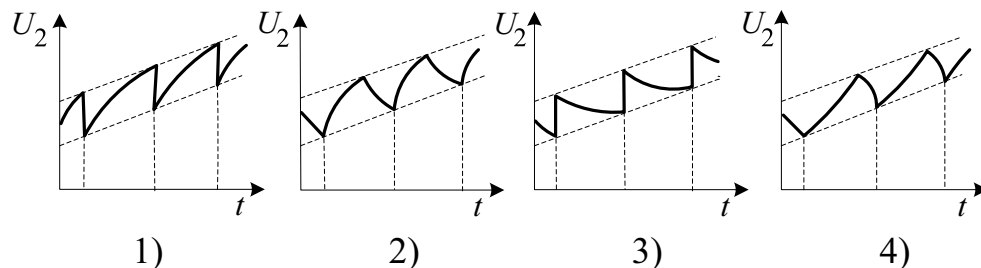


Рис. 11.31

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**11.5.9.** На вход амплитудно-импульсной системы (рис. 11.32) с импульсным элементом, создающим прямоугольные импульсы ( $0 < \gamma < 1$ ), подается воздействие  $U_1(t) = U_0 \cdot t$ . Какой вид имеет установившийся процесс?

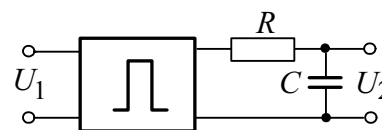
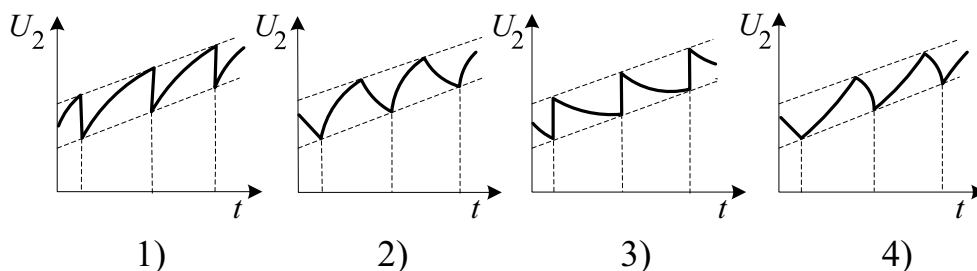


Рис. 11.32

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**11.5.10.** Каким выражением определяется установившийся процесс на выходе импульсной системы с весовой функцией  $w[n, \varepsilon]$  при произвольном непериодическом воздействии  $x[n]$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sum_{m=0}^{\infty} x[n-m] w[m, \varepsilon]$ ;      3)  $\sum_{m=n}^{\infty} x[n-m] w[m, \varepsilon]$ ;  
 2)  $\sum_{m=0}^n x[n-m] w[m, \varepsilon]$ ;      4)  $\sum_{m=1}^n \Delta x[n-m] w[m, \varepsilon]$ .

**11.5.11.** Найдите выражение для установившегося процесса в замкнутой импульсной системе (рис. 11.33) при воздействии  $g[n] = 1[n]$ , если импульсный элемент, формирующий мгновенные импульсы, фиксирует правое значение входной величины.

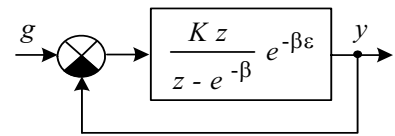


Рис. 11.33

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{K e^{-\beta \varepsilon}}{1 - (1 - K) e^{-\beta}}$ ;      3)  $K (1 - e^{-\beta \varepsilon})$ ;      5)  $\frac{K e^{-\beta \varepsilon}}{1 + K - e^{-\beta}}$ .  
 2)  $\frac{K e^{-\beta \varepsilon}}{K - e^{-\beta}}$ ;      4)  $\frac{K (1 - e^{-\beta \varepsilon})}{1 + K - e^{-\beta}}$ ;

**11.5.12.** Каким выражением определяются коэффициенты  $C_k$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) ошибок импульсной системы, представленной на рис. 11.34?

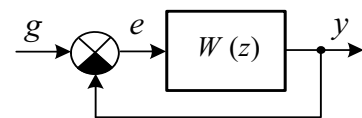


Рис. 11.34

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\left. \frac{d^k}{ds^k} \cdot \frac{e^{sT} - 1}{1 + W(e^{sT})} \right|_{s=0}$ ;      3)  $T^k \left. \frac{d^k}{ds^k} \cdot \frac{1}{1 + W(e^{sT})} \right|_{s=0}$ ;  
 2)  $\left. \frac{d^k}{ds^k} \cdot \frac{1}{1 + W(e^{sT})} \right|_{s=0}$ ;      4)  $\left. \frac{d^k}{ds^k} \cdot \frac{e^{sT}}{1 + W(e^{sT})} \right|_{s=0}$ .

11.5.13. Определите первые два коэффициента ошибок импульсной системы, схема которой представлена на рис. 11.35.

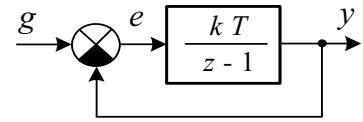


Рис. 11.35

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $C_0 = 0$ ;  $C_1 = \frac{1}{kT}$ ;    3)  $C_0 = 0$ ;  $C_1 = \frac{1}{k}$ ;    5)  $C_0 = C_1 = 0$ .

2)  $C_0 = 0$ ;  $C_1 = \frac{k}{T}$ ;    4)  $C_1 = \frac{1}{kT}$ ;  $C_2 = \frac{kT - 2}{k^2}$ ;

11.5.14. Определите коэффициент ошибки  $C_1$  импульсной системы, схема которой представлена на рис. 11.36.

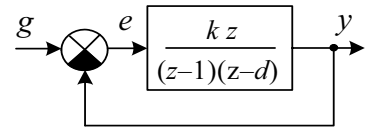


Рис. 11.36

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{T(1-d)}{k}$ ;    2)  $\frac{k}{1-d}$ ;    3) 1;    4)  $\frac{1-d}{k}$ ;    5)  $\frac{kT}{1-d}$ .

11.5.15. Определите установившуюся ошибку системы (рис. 11.37) в функции дискретного времени  $\bar{t} = nT$ , если  $g(t) = t + 0,5 t^2$ .

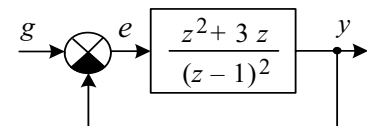


Рис. 11.37

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $e(nT) = \frac{T^2}{4}$ ;    3)  $e(nT) = \frac{T^2}{4} + \frac{T^3}{4} n$ ;    5)  $e(nT) = \frac{T^3}{4}$ .

2)  $e(nT) = \frac{T^2}{2}$ ;    4)  $e(nT) = \frac{T^2}{2} + \frac{T^3}{2} n$ ;

## 11.6. Переходные процессы в линейных дискретных системах

**11.6.1.** Каким выражением определяется процесс  $y[n, \varepsilon]$  на выходе импульсной системы (рис. 11.38) с весовой функцией  $w[n, \varepsilon]$  при произвольном входном сигнале  $x[n]$ ?

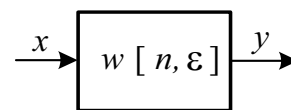


Рис. 11.38

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sum_{m=0}^n w[m, \varepsilon] x[m]$ ; 3)  $\sum_{m=0}^n w[n-m, \varepsilon] x[m]$ ; 5)  $\sum_{m=0}^n w[n-m, \varepsilon] x[n]$ .  
 2)  $\sum_{m=0}^{\infty} w[n, \varepsilon] x[m]$ ; 4)  $\sum_{m=0}^{\infty} w[n, \varepsilon] x[n-m]$ ;

**11.6.2.** Каким выражением определяется процесс  $e[n, \varepsilon]$  в импульсной системе, схема которой представлена на рис. 11.39?

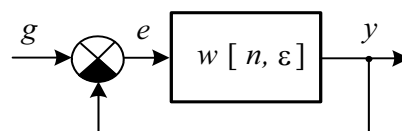


Рис. 11.39

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $g[n, \varepsilon] - \sum_{m=0}^n w[n-m, \varepsilon] x[m, 0]$ ; 3)  $\sum_{m=0}^n w[n-m, \varepsilon] x[m, \varepsilon]$ ;  
 2)  $g[n, \varepsilon] - \sum_{m=0}^n w[n-m, \varepsilon] x[m, \varepsilon]$ ; 4)  $g[n, \varepsilon] - \sum_{m=0}^n w[n, \varepsilon] x[m, 0]$ .

**11.6.3.** На вход амплитудно-импульсной системы (рис. 11.40) с мгновенными импульсами подается ступенчатое воздействие  $U_1(t) = 1(t)$ . Какой вид имеет её переходный процесс?

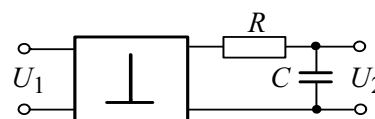
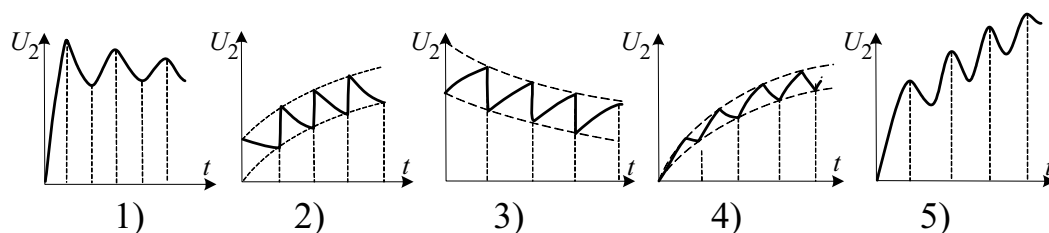


Рис. 11.40

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**11.6.4.** На вход амплитудно-импульсной системы (рис. 11.41) с импульсным элементом, создающим прямоугольные импульсы ( $0 < \gamma < 1$ ), подается ступенчатое воздействие  $U_1(t) = 1(t)$ . Какой вид имеет переходный процесс?

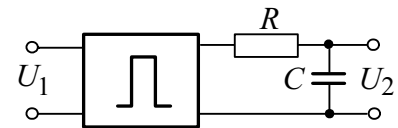
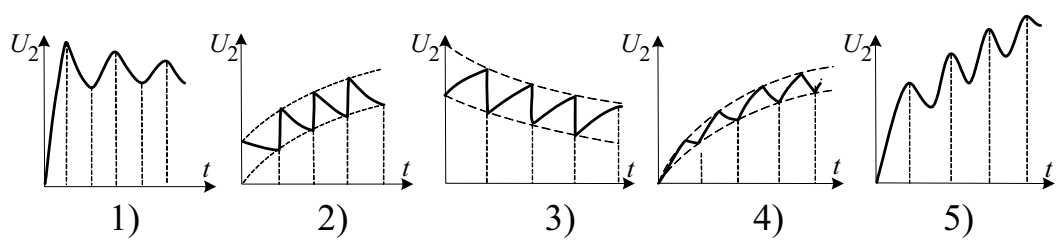


Рис. 11.41

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**11.6.5.** Каким выражением определяется переходная составляющая  $y_{\Pi}[n, \varepsilon]$  реакции импульсной системы (рис. 11.42), на произвольное воздействие  $x[n, 0]$  если полюсы передаточной функции  $W(z, \varepsilon) = P(z, \varepsilon)/Q(z)$  и изображения  $X(z, 0)$  различны и отличны от единицы?

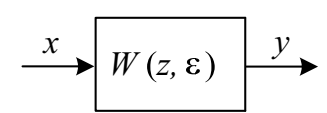


Рис. 11.42

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sum_{v=1}^N \frac{P(z_v, \varepsilon)}{Q'(z_v)} X(z_v) z_v^n$ ;
- 2)  $\sum_{v=1}^N \frac{P(z_v, \varepsilon)}{Q'(z_v)} z_v^{n-1}$ ;
- 3)  $\sum_{v=1}^N \frac{P(z_v, \varepsilon)}{Q'(z_v)} X(z_v) z_v^{n-1}$ ;
- 4)  $\sum_{v=1}^N \frac{P(z_v, \varepsilon)}{Q'(z_v)} X(z_v, \varepsilon) z_v^n$ .

**11.6.6.** Определите переходную составляющую  $y_{\Pi}[n, \varepsilon]$  реакции импульсной системы (рис. 11.43) на входное воздействие  $x[n] = 1[n]$ .

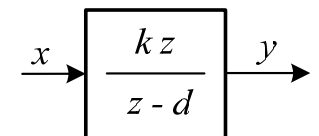


Рис. 11.43

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{Kd}{d-1} d^{n-1}$ ;
- 2)  $\frac{Kd^2}{d-1} d^n$ ;
- 3)  $\frac{K}{1-d} d^{n-1}$ ;
- 4)  $\frac{K}{d-1} d^{n-1}$ ;
- 5)  $\frac{Kd}{d-1} d^n$ .

**11.6.7.** Какой вид имеет составляющая  $y_{\text{п}i}[n]$  переходного процесса, соответствующая полюсу, положение которого показано на рис. 11.44?

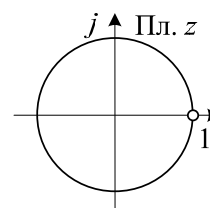
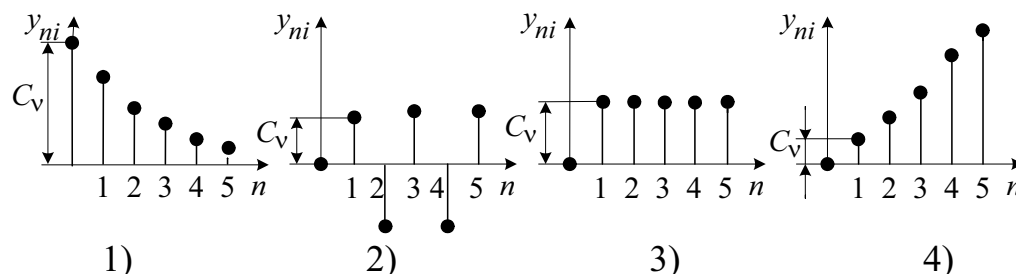


Рис. 11.44



**11.6.8.** Какой вид имеет составляющая  $y_{\text{п}i}[n]$  переходного процесса, соответствующая полюсу, положение которого показано на рис. 11.44?

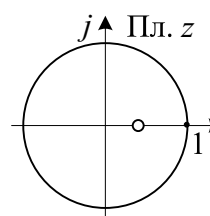
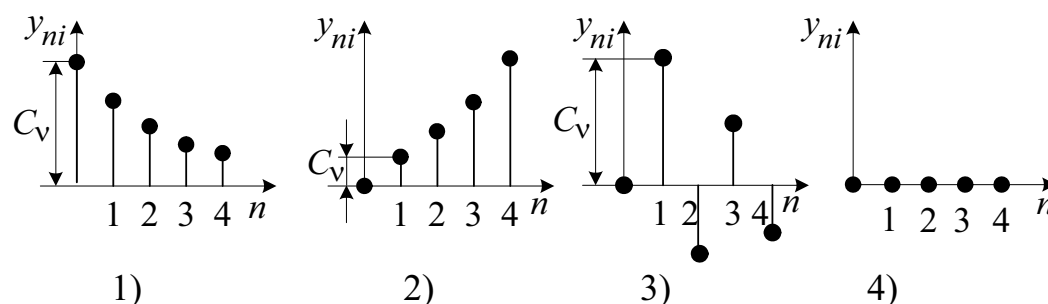


Рис. 11.45



**11.6.9.** Какой вид имеет составляющая  $y_{\text{п}i}[n]$  переходного процесса, соответствующая полюсу, положение которого показано на рис. 11.44?

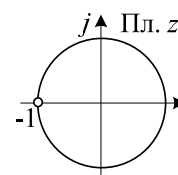
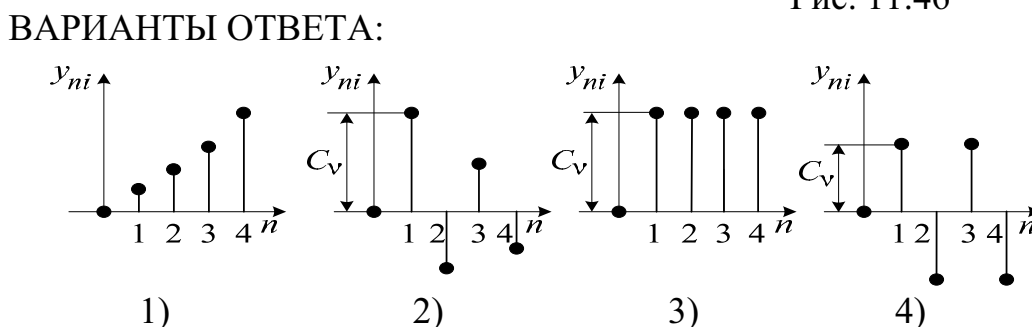


Рис. 11.46



**11.6.10.** Какой вид имеет составляющая  $y_{pi}[n]$  переходного процесса, соответствующая паре комплексно-сопряженных полюсов, положение которых показано на рис. 11.47?

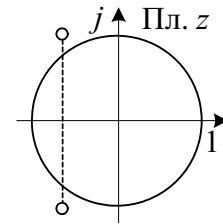
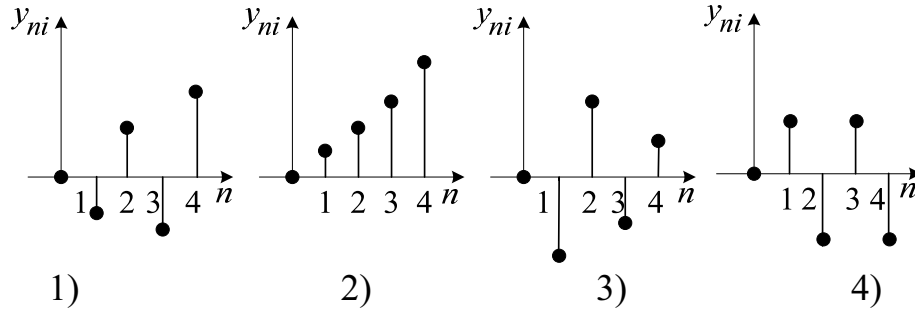


Рис. 11.47

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**11.6.11.** Какой вид имеет составляющая  $y_{pi}[n]$  переходного процесса, соответствующая паре комплексно-сопряженных полюсов, положение которых показано на рис. 11.48?

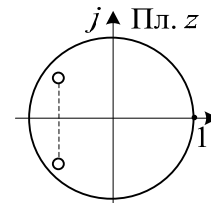
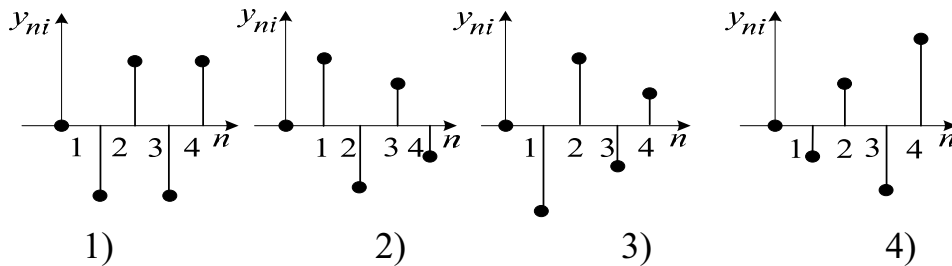


Рис. 11.48

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**11.6.12.** Укажите условие конечной длительности переходного процесса в импульсной системе, описываемой передаточной функцией

$$W(z) = \frac{b_m z^m + b_{m-1} z^{m-1} + \dots + b_1 z + b_0}{a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_1 z + a_0}, \quad n \geq m.$$

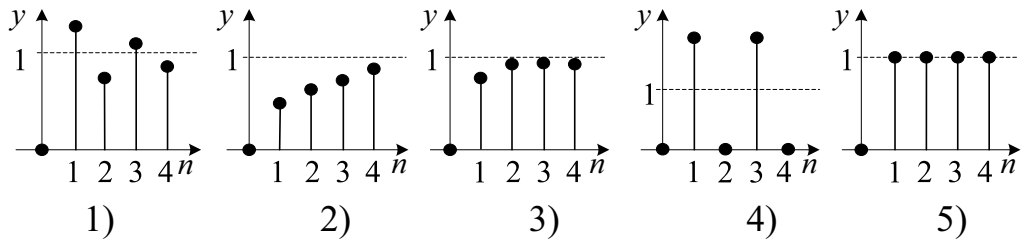
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a_n = a_{n-1} = \dots = a_1 = 0$ ;
- 2)  $a_{n-1} = a_{n-2} = \dots = a_0 = 0$ ;
- 3)  $b_{m-1} = b_{m-2} = \dots = b_0 = 0$ ;
- 4)  $a_{n-1} = a_{n-2} = \dots = a_0 = b_0 = 0$ ;
- 5)  $a_0 = 0$ ;  $b_0 = 0$ .



- 11.6.13. Какой вид будет иметь функция  $y[n]$ , соответствующая изображению выходного сигнала системы  $Y(z, 0) = \frac{2z}{z^2 - 1}$ ?

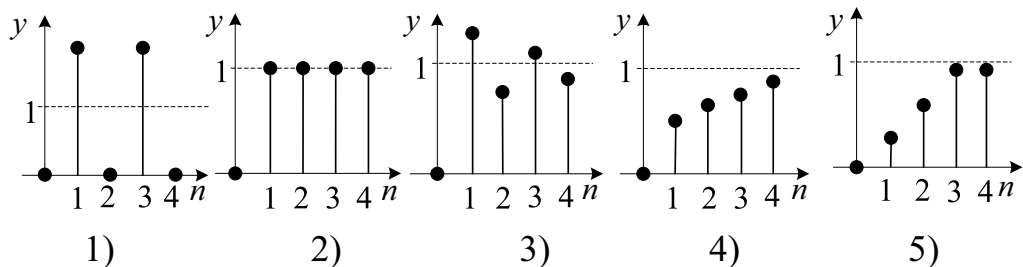
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



- 11.6.14. Какой вид будет иметь функция  $y[n]$ , соответствующая изображению выходного сигнала системы

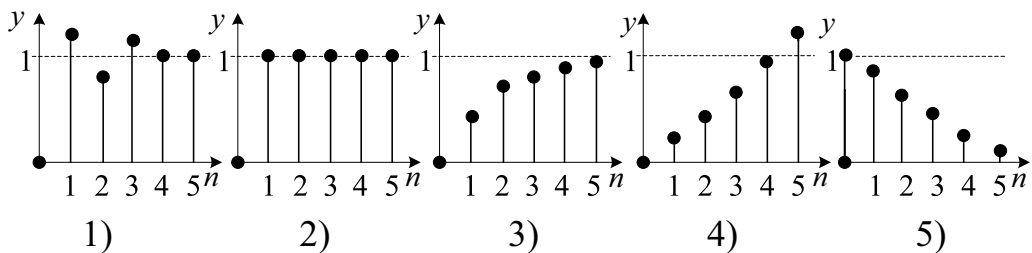
$$Y(z, 0) = \frac{1,5z}{z^2 - 0,5z - 0,5} ?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



- 11.6.15. Разомкнутая цифровая система описывается передаточной функцией  $W(z) = \frac{KT}{z-1}$ . Какой вид имеет переходный процесс на выходе замкнутой системы, если на входе действует единичная ступенчатая функция и  $KT = 1$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



## 11.7. Синтез импульсных и цифровых систем

11.7.1. Система с передаточной функцией ПНЧ  $W_{\Pi}(z)$  (рис. 11.49) должна иметь в замкнутом состоянии желаемую передаточную функцию  $W_{yg}^{\text{ж}}(z)$ .

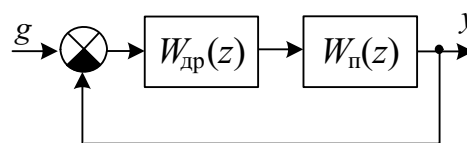


Рис. 11.49

Найдите формулу для расчета передаточной функции  $W_{\text{др}}(z)$  дискретного регулятора.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) W_{\text{др}}(z) = \frac{W_{yg}^{\text{ж}}(z)}{W_{\Pi}(z)};$$

$$2) W_{\text{др}}(z) = \frac{W_{\Pi}(z)}{W_{yg}^{\text{ж}}(z)};$$

$$3) W_{\text{др}}(z) = \frac{1}{W_{\Pi}(z)} \cdot \frac{W_{yg}^{\text{ж}}(z)}{1 - W_{yg}^{\text{ж}}(z)};$$

$$4) W_{\text{др}}(z) = W_{\Pi}(z) \cdot \frac{1 - W_{yg}^{\text{ж}}(z)}{W_{yg}^{\text{ж}}(z)}.$$

11.7.2. Решается задача синтеза дискретного регулятора, при котором замкнутая система будет иметь желаемую передаточную функцию  $W_{yg}^{\text{ж}}(z)$  (рис. 11.50).

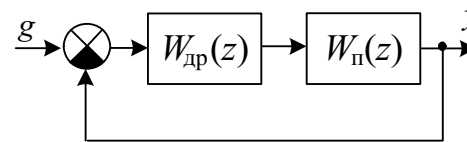


Рис. 11.50

Передаточная функция  $W_{\Pi}(z)$  ПНЧ имеет полюса, лежащие на и вне единичной окружности. Укажите условие для желаемой передаточной функции  $W_{yg}^{\text{ж}}(z)$ , при котором обеспечивается грубость системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) среди полюсов  $1 - W_{yg}^{\text{ж}}(z)$  содержатся полюса  $W_{\Pi}(z)$ , лежащие на и вне единичной окружности;

2) среди нулей  $1 - W_{yg}^{\text{ж}}(z)$  содержатся полюса  $W_{\Pi}(z)$ , лежащие на и вне единичной окружности;

3) среди нулей  $W_{yg}^{\text{ж}}(z)$  содержатся полюса  $W_{\Pi}(z)$ , лежащие на и вне единичной окружности.

- 11.7.3. Решается задача синтеза дискретного регулятора, при котором замкнутая система будет иметь желаемую передаточную функцию  $W_{yg}^{\text{ж}}(z)$  (рис. 11.51).

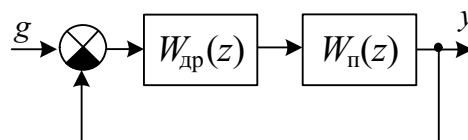


Рис. 11.51

Передаточная функция  $W_{\text{п}}(z)$  ПНЧ имеет нули, лежащие на и вне единичной окружности. Укажите условие для желаемой передаточной функции  $W_{yg}^{\text{ж}}(z)$ , при котором обеспечивается грубость системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) среди полюсов  $1 - W_{yg}^{\text{ж}}(z)$  содержатся нули  $W_{\text{п}}(z)$ , лежащие на и вне единичной окружности;
  - 2) среди нулей  $1 - W_{yg}^{\text{ж}}(z)$  содержатся нули  $W_{\text{п}}(z)$ , лежащие на и вне единичной окружности;
  - 3) среди нулей  $W_{yg}^{\text{ж}}(z)$  содержатся нули  $W_{\text{п}}(z)$ , лежащие на и вне единичной окружности;
- 11.7.4. Дана дискретная система с запаздыванием на  $m$  интервалов дискретности (рис. 11.52).

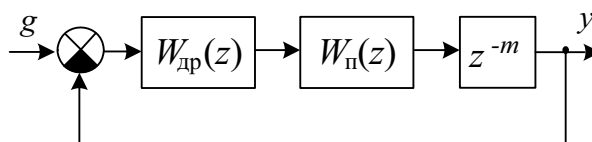


Рис. 11.52

Определите передаточную функцию  $W_{\text{др}}(z)$  дискретного регулятора, который обеспечивает компенсацию влияния запаздывания на процессы в контуре управления.

**Замечание:** Передаточная функция замкнутой системы при этом должна иметь следующий вид:

$$W_3(z) = \frac{W_{\text{п}}(z) z^{-m}}{1 + W_{\text{п}}(z)}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W_{\text{др}}(z) = \frac{1}{1 + W_{\text{п}}(z)[1 - z^{-m}]}$ ;
- 2)  $W_{\text{др}}(z) = \frac{1}{1 - W_{\text{п}}(z)z^{-m}}$ ;
- 3)  $W_{\text{др}}(z) = \frac{1}{1 - W_{\text{п}}(z)[1 + z^{-m}]}$ ;
- 4)  $W_{\text{др}}(z) = \frac{1}{1 + W_{\text{п}}(z)z^{-m}}$ .

**11.7.5.** Определите передаточную функцию  $W_{\text{др}}(z)$  дискретного интегрального регулятора при условии, что аппроксимация интеграла выполняется по методу прямоугольников.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll} 1) W_{\text{др}}(z) = k_{\text{и}} \cdot \frac{T}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1}; & 3) W_{\text{др}}(z) = k_{\text{и}} \cdot \frac{T \cdot z}{z-1}; \\ 2) W_{\text{др}}(z) = k_{\text{и}} \cdot \frac{T}{z-1}; & 4) W_{\text{др}}(z) = k_{\text{и}} \cdot \frac{T}{2} \cdot \frac{z-1}{z+1}. \end{array}$$

**11.7.6.** Определите передаточную функцию  $W_{\text{др}}(z)$  дискретного интегрального регулятора при условии, что аппроксимация интеграла выполняется по методу трапеций.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll} 1) W_{\text{др}}(z) = k_{\text{и}} \cdot \frac{T \cdot z}{z-1}; & 3) W_{\text{др}}(z) = k_{\text{и}} \cdot \frac{T}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1}; \\ 2) W_{\text{др}}(z) = k_{\text{и}} \cdot \frac{T}{z-1}; & 4) W_{\text{др}}(z) = k_{\text{и}} \cdot \frac{T}{2} \cdot \frac{z-1}{z+1}. \end{array}$$

**11.7.7.** Определите для контроллера с периодом дискретизации  $T$  алгоритм реализации регулирования, аналогичный алгоритму работы непрерывного ПД-регулятора

$$u(t) = k_{\text{п}} e(t) + k_{\text{д}} \frac{de}{dt},$$

если производная аппроксимируется простой разностью.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{l} 1) u[nT] = k_{\text{п}} e[nT] + k_{\text{д}} e[(n+1)T]; \\ 2) u[nT] = k_{\text{п}} e[nT] + k_{\text{д}} e[(n-1)T]; \\ 3) u[nT] = (k_{\text{п}} + k_{\text{д}}) e[(n-1)T]; \\ 4) u[nT] = (k_{\text{п}} + k_{\text{д}}) e[nT] - k_{\text{д}} e[(n-1)T]; \\ 5) u[nT] = (k_{\text{п}} + k_{\text{д}}) e[nT] - k_{\text{д}} e[(n+1)T]. \end{array}$$

**11.7.8.** Определите для контроллера с периодом дискретизации  $T$  алгоритм реализации регулирования, аналогичный алгоритму работы непрерывного ПИД-регулятора

$$u(t) = k_{\text{п}} e(t) + k_{\text{д}} \frac{de}{dt} + k_{\text{и}} \int_0^t e(\tau) d\tau,$$

если производная аппроксимируется простой разностью, а интеграл – при помощи метода трапеций.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \quad \begin{aligned} u[nT] = & k_{\text{п}} e[nT] + k_{\text{д}} \{e[(n+1)T] - e[nT]\} + \\ & + k_{\text{и}} \left\{ u[(n-1)T] + \frac{T}{2} \{e[(n-1)T] + e[nT]\} \right\}; \end{aligned}$$

$$2) \quad \begin{aligned} u[nT] = & k_{\text{п}} e[nT] + k_{\text{д}} \{e[nT] - e[(n-1)T]\} + \\ & + k_{\text{и}} \frac{T}{2} \{e[(n-1)T] + e[nT]\}; \end{aligned}$$

$$3) \quad \begin{aligned} u[nT] = & k_{\text{п}} e[nT] + k_{\text{д}} \{e[nT] - e[(n-1)T]\} + \\ & + k_{\text{и}} \left\{ u[(n-1)T] + \frac{T}{2} \{e[(n-1)T] + e[nT]\} \right\}. \end{aligned}$$

**11.7.9.** Дана система (рис. 11.53), в которой ПНЧ описывается передаточной функцией

$$W_{\text{п}}(z) = \frac{k \cdot (1-d)}{z-d}, \quad d = \text{const}.$$

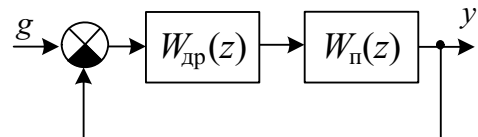


Рис. 11.53

В цифровом регуляторе могут быть реализованы алгоритмы управления, описываемые передаточными функциями:

$$\text{А) } W_{\text{др}}(z) = k_{\text{п}}; \quad \text{Б) } W_{\text{др}}(z) = k_{\text{п}} + k_{\text{д}} \frac{z-1}{z};$$

$$\text{В) } W_{\text{др}}(z) = k_{\text{и}} \frac{z}{z-1}; \quad \text{Г) } W_{\text{др}}(z) = k_{\text{п}} + k_{\text{и}} \frac{z}{z-1}.$$

Укажите те алгоритмы, которые обеспечивают нулевую статическую ошибку.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |           |           |
|-----------|-----------|
| 1) А и Б; | 4) В и Г; |
| 2) Б и В; | 5) Б и Г. |
| 3) А и В; |           |

11.7.10. Дана система (рис. 11.54). Передаточные функции регулятора и ПНЧ имеют вид:

$$W_{др}(z) = \frac{k_{и}}{z-1}; \quad W_{п}(z) = \frac{0,125}{z-0,875}.$$

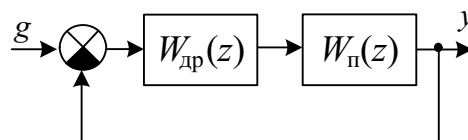


Рис. 11.54

Определите диапазон изменения коэффициента передачи  $k_{и}$  регулятора, в котором гарантируется устойчивость системы и значение коэффициента ошибки  $C_1 < 0,4$ , если  $T = 0,2$  с.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| 1) $0,5 < k_{и} < 1$ ; | 4) $0 < k_{и} < 1$ ; |
| 2) $0,5 < k_{и} < 2$ ; | 5) $0 < k_{и} < 2$ . |
| 3) $0 < k_{и} < 0,5$ ; |                      |

11.7.11. Дана система (рис. 11.55). Передаточные функции регулятора и ПНЧ имеют вид:

$$W_{др}(z) = k_{др}; \quad W_{п}(z) = \frac{0,2}{z-0,8}.$$

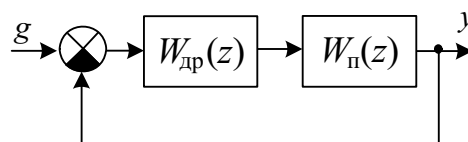


Рис. 11.55

Определите диапазон изменения коэффициента передачи  $k_{др}$  регулятора, в котором степень устойчивости замкнутой системы  $\eta T > 0,5$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| 1) $1 < k_{др} < 6,5$ ; | 4) $1,5 < k_{др} < 6,5$ ; |
| 2) $1,5 < k_{др} < 6$ ; | 5) $1 < k_{др} < 6$ .     |
| 3) $2 < k_{др} < 5$ ;   |                           |

11.7.12. Замкнутая импульсная система состоит из фиксатора нулевого порядка ( $T = 0,2$  с) и непрерывной части, описываемой функцией

$$W_{н}(s) = \frac{k}{1,5 \cdot s + 1}.$$

Определите значение  $k$ , при котором переходный процесс в системе заканчивается за конечное число шагов.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |              |              |                |
|--------------|--------------|----------------|
| 1) $k = 8$ ; | 3) $k = 1$ ; | 5) $k = 1,5$ . |
| 2) $k = 7$ ; | 4) $k = 2$ ; |                |

11.7.13. Дана система (рис. 11.56). Передаточные функции регулятора и ПНЧ имеют вид:

$$W_{др}(z) = k_{п} + \frac{k_{и}}{z-1};$$

$$W_{п}(z) = \frac{0,125}{z-0,875}.$$

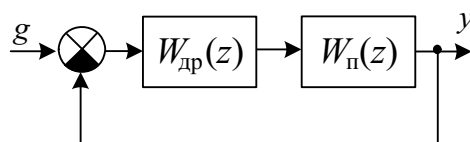


Рис. 11.56

Определите значения  $k_{п}$  и  $k_{и}$ , при которых переходный процесс в системе заканчивается за конечное число шагов.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $k_{п} = 38, k_{и} = 46$ ;    3)  $k_{п} = 15, k_{и} = 15$ ;    5)  $k_{п} = 15, k_{и} = 8$ .  
 2)  $k_{п} = 46, k_{и} = 38$ ;    4)  $k_{п} = 8, k_{и} = 15$ ;

11.7.14. Дана система (рис. 11.57). Передаточные функции регулятора и ПНЧ имеют вид:

$$W_{др}(z) = k_{п} + k_{д} \frac{z-1}{z};$$

$$W_{п}(z) = \frac{0,2}{z-0,8}.$$

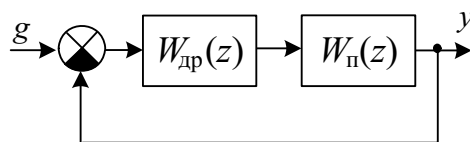


Рис. 11.57

Определите значения  $k_{п}$  и  $k_{д}$ , при которых полюса замкнутой системы равны  $z_1 = -0,2$ ;  $z_2 = 0,5$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $k_{п} = 2, k_{д} = 0,5$ ;    3)  $k_{п} = 5, k_{д} = 0,5$ ;    5)  $k_{п} = 2, k_{д} = 1$ .  
 2)  $k_{п} = 0,5, k_{д} = 2$ ;    4)  $k_{п} = 0,5, k_{д} = 5$ ;

11.7.15. Дана система с цифровым регулятором (рис. 11.58).

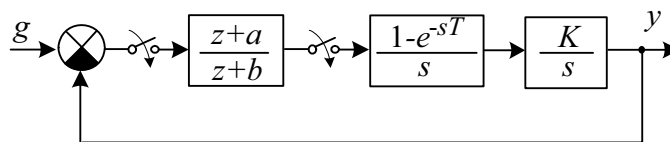


Рис. 11.58

Определите значения  $a$  и  $b$ , при которых замкнутая система имеет полюса  $z_1 = -0,5$  и  $z_2 = -0,5$ , если  $K = 25$  и  $T = 0,1$  с.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a = 0,1, b = 0,5$ ;    3)  $a = 0,1, b = -0,5$ ;  
 2)  $a = -0,1, b = 0,5$ ;    4)  $a = -0,1, b = -0,5$ .

## 12.2. Анализ процессов в нелинейных системах на фазовой плоскости

12.2.1. Нелинейная система описывается уравнением

$$\frac{d^2x}{dt^2} - k(1-x^2)\frac{dx}{dt} + x = 0.$$

Определите дифференциальное уравнение её фазовых траекторий на плоскости ( $x, y = dx/dt$ ).

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $\frac{dy}{dt} = k(1-x^2)y - x;$

3)  $\frac{dy}{dt} = k(1-x^2)y - \frac{x}{y};$

2)  $\frac{dy}{dx} = k(1-x^2) - x;$

4)  $\frac{dy}{dx} = k(1-x^2) - \frac{x}{y}.$

12.2.2. Сколько листов имеет фазовый портрет, который характеризует процессы в системе, операторно-структурная схема которой приведена на рис. 12.7?

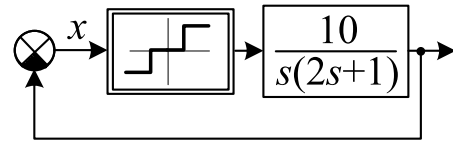


Рис. 12.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) один лист;

3) три листа;

5) мало данных.

2) два листа;

4) четыре листа;

12.2.3. Укажите линии переключения для фазовых траекторий собственных движений системы (рис. 12.8) на плоскости  $x, y = dx/dt$ .

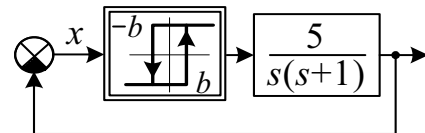
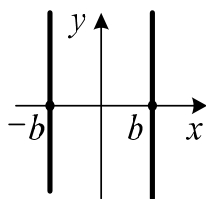
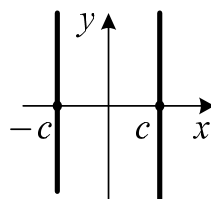


Рис. 12.8

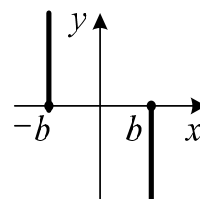
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



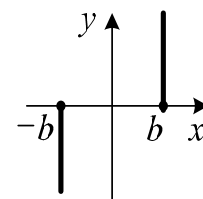
1)



2)



3)



4)



12.2.4. Определите уравнение фазовых траекторий системы (рис. 12.9) на плоскости  $(x, y = dx/dt)$  при  $x > 0$ .

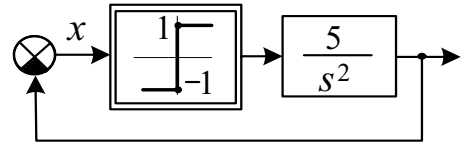


Рис. 12.9

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $y^2 = -10x + c$ ;      3)  $y^2 = 10x + c$ ;      5)  $x = 5y^2 + c$ .  
 2)  $y^2 = 10x$ ;      4)  $y^2 = 5x + c$ ;

12.2.5. Определите для системы (рис. 12.10) уравнение фазовой траектории, проходящей через точку  $(x = 2, y = 10)$  на плоскости  $(x, y = dx/dt)$ .

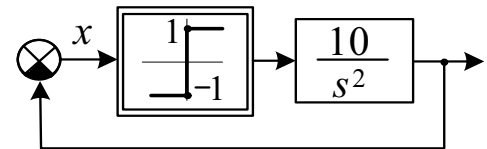


Рис. 12.10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x = 10y^2 + 60$ ;      3)  $20x = y^2 + 140$ ;      5)  $y^2 = -20x + 60$ .  
 2)  $y^2 = 20x + 60$ ;      4)  $y^2 = -20x + 140$ ;

12.2.6. Определите для представленной на рис. 12.11 системы уравнение фазовой траектории, проходящей в полосе  $-0,3 < x < 0,3$  фазовой плоскости  $(x, y = dx/dt)$  через точку с координатами  $(x = 0,1; y = 2)$ .

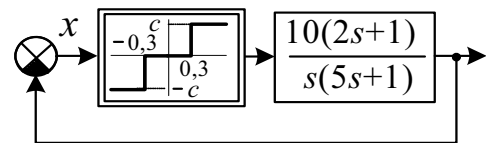


Рис. 12.11

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $20y + 10x = 0$ ;      3)  $5y + x = 0$ ;      5)  $5y + x - 10 = 0$ .  
 2)  $5y + x - 10,1 = 0$ ;      4)  $20y + 10x - 0,1 = 0$ ;

12.2.7. Определите для представленной на рис. 12.12 системы уравнение фазовой траектории, проходящей в полосе  $-b < x < b$  на фазовой плоскости  $(x, y = dx/dt)$  через точку  $(x_0, y_0)$ .

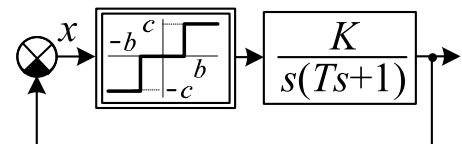


Рис. 12.12

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x = -T(y_0 - y) - x_0$ ;      3)  $x = Ty$ ;      5)  $x = T(y_0 - y)$ .  
 2)  $x = T(y_0 - y) - x_0$ ;      4)  $x = T(y_0 - y) + x_0$ ;

**12.2.8.** Дана система, описываемая приведенными справа уравнениями. Определите уравнение фазовой траектории, проходящей на плоскости  $(x, y = dx/dt)$  через точку с координатами  $(x_0, y_0)$ , при  $g(t) \equiv 0, x > b$ .

$$x = g - z;$$

$$(T^2 p^2 + 1)z = ku;$$

$$u = \begin{cases} c & \text{при } x > b; \\ 0 & \text{при } -b < x < b; \\ -c & \text{при } x < -b. \end{cases}$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) y^2 = -\frac{1}{T^2} (2kcx + x^2); \quad 4) y^2 = y_0^2 - \frac{1}{T^2} [2kcx(x - x_0) + x^2 - x_0^2];$$

$$2) y^2 = y_0^2 - \frac{2kc}{T^2} (x - x_0); \quad 5) y^2 = -\frac{2}{T^2} kcx.$$

$$3) y^2 = y_0^2 - \frac{1}{T^2} (x^2 - x_0^2);$$

**12.2.9.** Нелинейная система описывается уравнениями

$$\frac{dx}{dt} = xy - 1, \quad \frac{dy}{dt} = 0,5x - 2.$$

Определите координаты точки положения равновесия системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) x = 1, y = 2; \quad 3) x = 4, y = 1; \quad 5) x = 4, y = 0,25.$$

$$2) x = 0, y = 0; \quad 4) x = 2, y = 1;$$

**12.2.10.** Нелинейная система описывается уравнениями

$$\frac{dx}{dt} = -2x + y, \quad \frac{dy}{dt} = -1,2x + x^2.$$

Определите координаты точек положений равновесия системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \begin{cases} x_{01} = 0, y_{01} = 0; \\ x_{02} = 2,4, y_{02} = 1,2; \end{cases} \quad 4) \begin{cases} x_{01} = 0, y_{01} = 0; \\ x_{02} = -1,2, y_{02} = 2,4; \end{cases}$$

$$2) \begin{cases} x_{01} = 0, y_{01} = 0; \\ x_{02} = 2,4, y_{02} = -1,2; \end{cases} \quad 5) \begin{cases} x_{01} = 0, y_{01} = 0; \\ x_{02} = 1,2, y_{02} = -2,4. \end{cases}$$

$$3) \begin{cases} x_{01} = 0, y_{01} = 0; \\ x_{02} = 1,2, y_{02} = 2,4; \end{cases}$$

12.2.11. Нелинейная система описывается уравнениями

$$\frac{dx}{dt} = xy - 1, \quad \frac{dy}{dt} = 0,5x - 2.$$

Определите тип особой точки системы.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчивый фокус;      3) устойчивый узел;      5) центр;  
 2) неустойчивый фокус;    4) неустойчивый узел;    6) седло.

12.2.12. На рис. 12.13 приведен фазовый портрет нелинейной системы. Мягкое или жесткое возбуждение автоколебаний реализуется в системе?

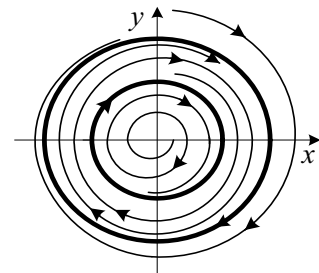


Рис. 12.13

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) мягкое;      2) жесткое;      3) мало данных.

12.2.13. Какому из предельных циклов соответствуют бифуркационные значения параметров системы (рис. 12.14)?

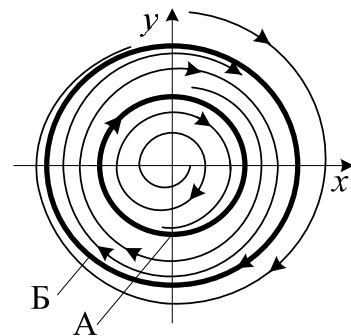


Рис. 12.14

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) циклу А;      3) циклам А и Б;  
 2) циклу Б;    4) ни одному из них.

12.2.14. Определите функцию точечных преобразований  $y_1 = f(y_0)$  линии  $x = +1$  самой в себя на фазовой плоскости  $(x, y = dx/dt)$  для системы, приведенной на рис. 12.15.

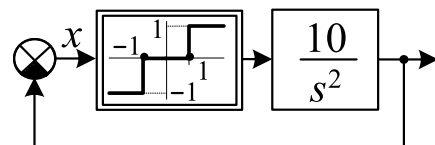


Рис. 12.15

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $y_1^2 = -20 + y_0^2$ ;      3)  $y_1^2 = -10y_0^2$ ;      5)  $y_1^2 = 10 + y_0^2$ .  
 2)  $y_1 = y_0$ ;      4)  $y_1^2 = -20y_0^2$ ;



12.2.20. Возможны ли колебания в системе, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 12.21?

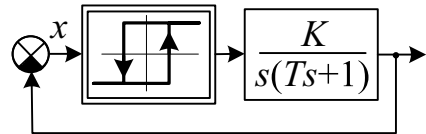


Рис. 12.21

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) возможны;                      2) невозможны;                      3) мало данных.

12.2.21. Существуют ли автоколебания в системе, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 12.22?

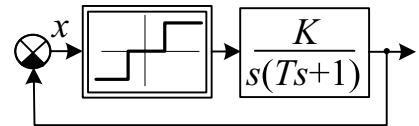


Рис. 12.22

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) существуют;                      2) не существуют;                      3) мало данных.

12.2.22. На рис. 12.23 приведена фазовая траектория нелинейной системы. Укажите качественно вид процесса для переменной  $x(t)$ .

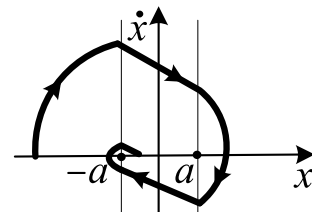
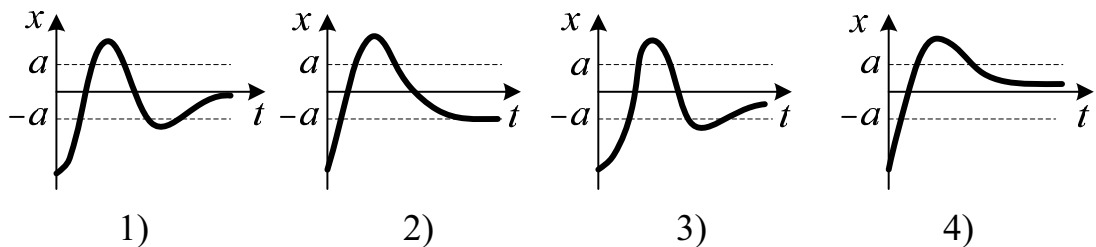


Рис. 12.23

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



12.2.23. На рис. 12.24 приведена фазовая траектория нелинейной системы. Как при этом будет изменяться во времени производная  $\dot{x}(t)$ ?

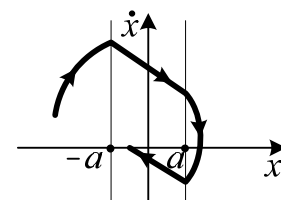
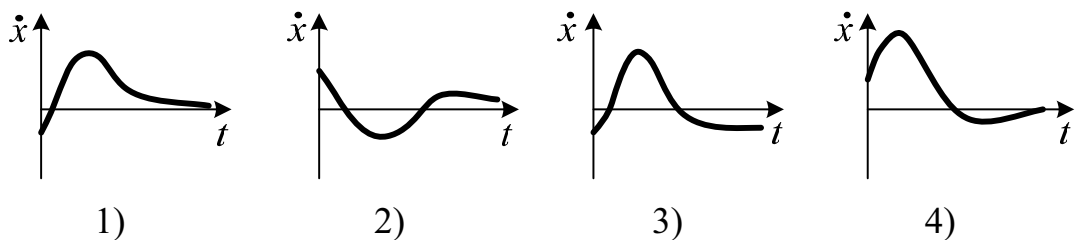


Рис. 12.24

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



12.2.24. На рис. 12.25 приведен фазовый портрет релейной системы. Определите вид процесса для переменной  $x(t)$ , соответствующий начальному положению изображающей точки  $M_0$ .

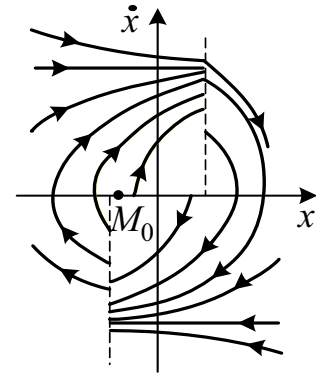
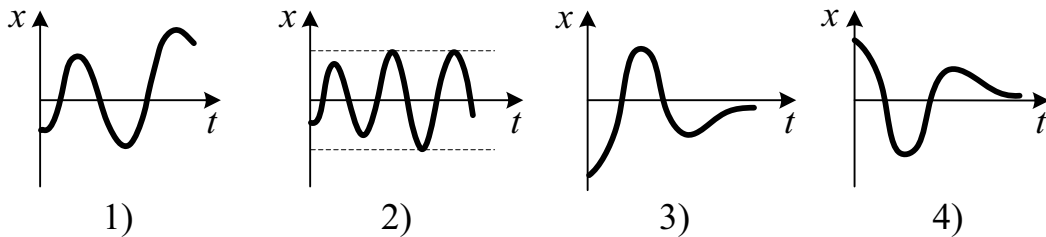


Рис. 12.25

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



12.2.25. Какой функцией может быть описан процесс  $x(t)$  в нелинейной системе при движении в скользящем режиме по линии переключения, представленной на рис. 12.26?

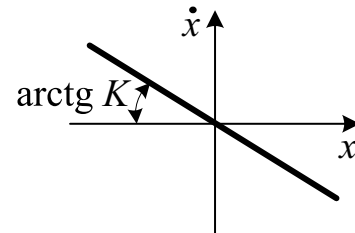


Рис. 12.26

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                            |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| 1) $x(t) = x_0 k t$ ;      | 4) $x(t) = k t - x_0 t^2$ ;  |
| 2) $x(t) = -k t$ ;         | 5) $x(t) = x_0 - e^{-k t}$ . |
| 3) $x(t) = x_0 e^{-k t}$ ; |                              |

12.2.26. На рис. 12.27 дан фрагмент фазовой траектории. Определите приблизительно время, за которое изображающая точка проходит участок фазовой траектории от точки  $a$  до точки  $b$ .

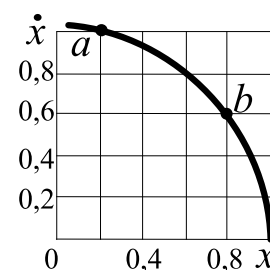


Рис. 12.27

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |           |            |         |
|-----------|------------|---------|
| 1) 1 с;   | 3) 0,5 с;  | 5) 2 с. |
| 2) 1,5 с; | 4) 0,75 с; |         |

**12.2.27.** Дана диаграмма точечных преобразований нелинейной САР (рис. 12.28). Определите характер переходного процесса  $y(t)$  при заданном начальном значении  $y(t_0) = y_0$ .

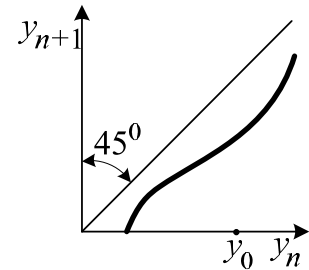


Рис. 12.28

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) затухающий до состояния покоя;
- 2) затухающий до автоколебаний;
- 3) расходящийся до автоколебаний;
- 4) расходящийся;
- 5) мало данных.

**12.2.28.** На рис. 12.29 представлена диаграмма точечных преобразований нелинейной САР. Определите характер переходного процесса  $y(t)$  при заданном начальном значении  $y(t_0) = y_0$ .

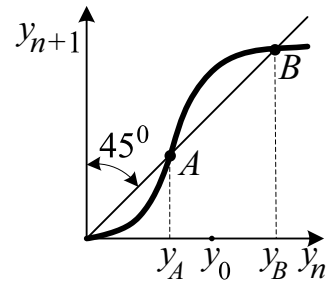


Рис. 12.29

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) аperiodический;
- 2) затухающий до состояния покоя;
- 3) затухающий до автоколебания с  $y = y_A$ ;
- 4) расходящийся до автоколебаний с  $y = y_B$ ;
- 5) мало данных.

**12.2.29.** Дана диаграмма точечных преобразований нелинейной САР (рис. 12.30). Определите характер переходного процесса  $y(t)$  при заданном начальном значении  $y(t_0) = y_0$ .

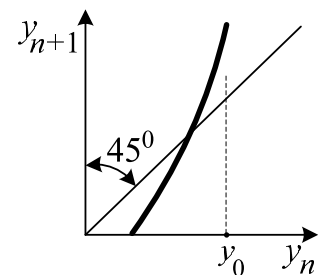


Рис. 12.30

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) затухающий до автоколебаний;
- 2) затухающий до состояния покоя;
- 3) расходящийся до автоколебаний;
- 4) расходящийся;
- 5) мало данных.

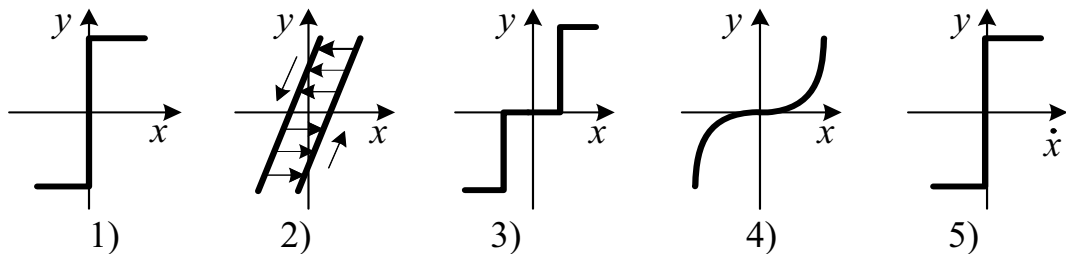
## ГЛАВА 12

### НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 12.1. Особенности и методы исследования нелинейных систем автоматического управления

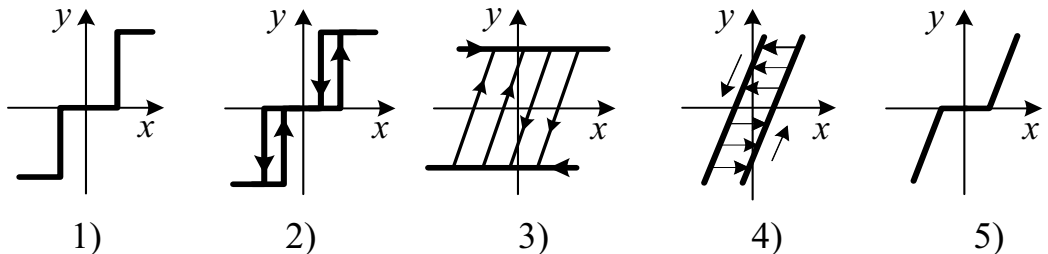
**12.1.1.** Укажите график нелинейной характеристики  $y = f(x)$  типа «сухое трение».

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**12.1.2.** Укажите график нелинейной характеристики  $y = f(x)$  типа «люфт».

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**12.1.3.** Какой типовой нелинейностью может быть аппроксимирована приведенная на рис. 12.1 нелинейная характеристика  $y(x)$ ?

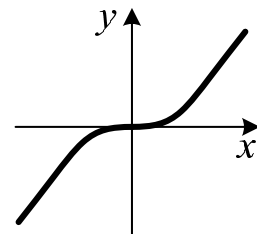


Рис. 12.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                        |                  |                |
|------------------------|------------------|----------------|
| 1) люфт;               | 3) сухое трение; | 5) гистерезис. |
| 2) нечувствительность; | 4) насыщение;    |                |

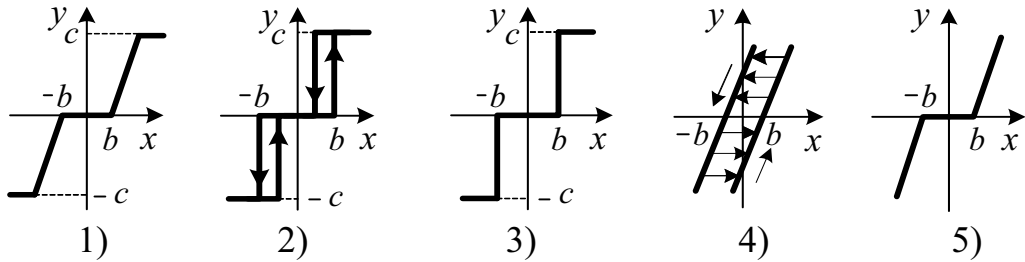


12.1.4. Нелинейный элемент описывается функцией

$$y = F(x) = \begin{cases} c, & x > b, \\ 0, & -b \leq x \leq b, \\ -c, & x < -b. \end{cases}$$

Какой вид имеет статическая характеристика элемента?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

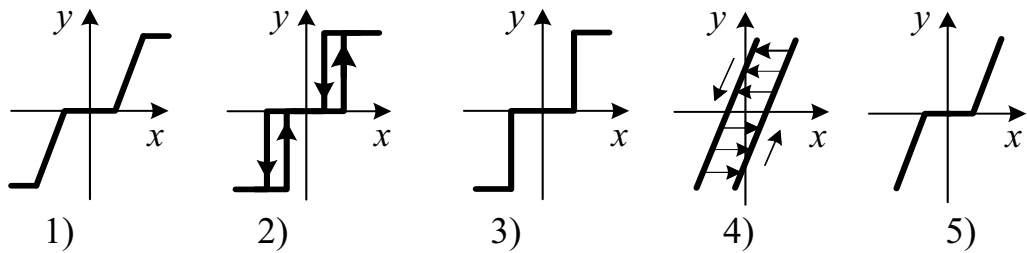


12.1.5. Нелинейный элемент описывается функцией

$$y = F(x) = \begin{cases} c(x-b), & x > b, \\ 0, & -b \leq x \leq b, \\ c(x+b), & x < -b. \end{cases}$$

Какой вид имеет статическая характеристика элемента?

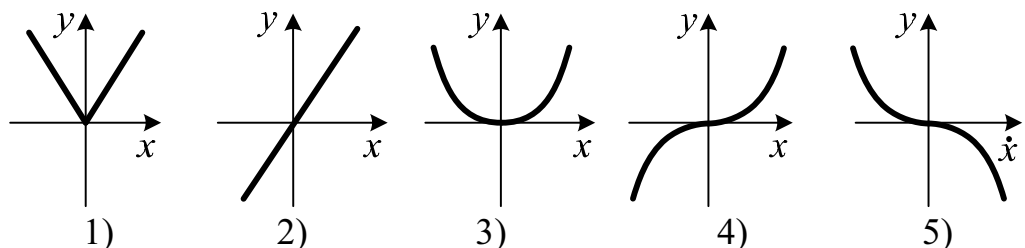
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



12.1.6. Нелинейный элемент описывается функцией  $y = F(x) = k \cdot |x| \cdot x$ .

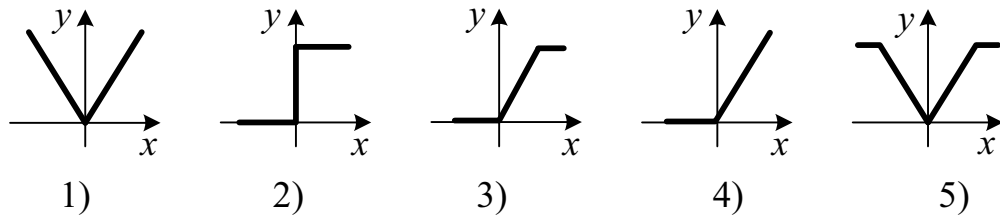
Какой вид имеет статическая характеристика элемента?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



12.1.7. Нелинейный элемент описывается функцией  $y = F(x) = k \cdot |x|$ . Какой вид имеет статическая характеристика элемента?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



12.1.8. Дано нелинейное корректирующее устройство (рис. 12.2).

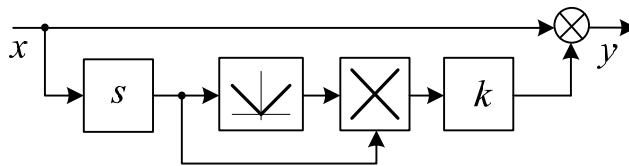


Рис. 12.2

Определите для него уравнение типа «вход-выход».

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $y = x + k \cdot |x| \cdot \dot{x}$ ;
- 2)  $y = x + k \cdot |\dot{x}| \cdot \dot{x}$ ;
- 3)  $y = x - k \cdot |\dot{x}| \cdot \dot{x}$ ;
- 4)  $y = x + k \cdot |\dot{x}| \cdot x$ .

12.1.9. Дано нелинейное корректирующее устройство (рис. 12.3). Определите для него уравнение типа «вход-выход».

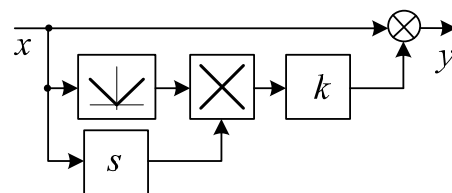


Рис. 12.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $y = x + k \cdot |x| \cdot \dot{x}$ ;
- 2)  $y = x + k \cdot |\dot{x}| \cdot \dot{x}$ ;
- 3)  $y = x - k \cdot |\dot{x}| \cdot \dot{x}$ ;
- 4)  $y = x + k \cdot |\dot{x}| \cdot x$ .

12.1.10. Используя  $p \triangleq d/dt$ , определите дифференциальное уравнение замкнутой системы (рис. 12.4) относительно  $x$ .

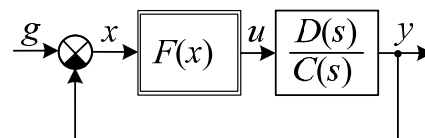


Рис. 12.4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $C(p)x - D(p)F(x) = 0$ ;
- 2)  $C(p)x - D(p)F(x) = C(p)g$ ;
- 3)  $C(p)x + D(p)F(x) = C(p)g$ ;
- 4)  $D(p)x + C(p)F(x) = C(p)g$ ;
- 5)  $C(p)x + D(p)F(x) = 0$ .

**12.1.11.** Определите дифференциальное уравнение свободного движения замкнутой системы (рис. 12.5) относительно входа нелинейного элемента  $x$ , приняв  $p \triangleq d/dt$ ,

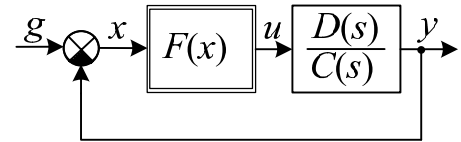


Рис. 12.5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1) $C(p)x - D(p)F(x) = 0$ ;     | 4) $D(p)x + C(p)F(x) = C(p)g$ ; |
| 2) $C(p)x - D(p)F(x) = C(p)g$ ; | 5) $C(p)x + D(p)F(x) = 0$ .     |
| 3) $C(p)x + D(p)F(x) = C(p)g$ ; |                                 |

**12.1.12.** Какой вид имеет интегральное уравнение нелинейной системы (рис. 12.6) относительно  $x(t)$  при ограниченном неисчезающем воздействии  $g(t)$ , приложенном в момент времени  $t_0 = -\infty$ ?

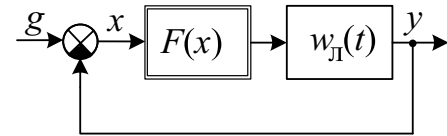


Рис. 12.6

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x(t) = \int_{-\infty}^t w_{II}(\tau) \cdot F[g(t-\tau)] d\tau$ ;
- 2)  $x(t) = g(t) - F(x) \cdot W_{II}(0)$ ;
- 3)  $x(t) = g(t) - \int_{-\infty}^t w_{II}(t-\tau) \cdot F[x(\tau)] d\tau$ ;
- 4)  $x(t) = g(t) - \int_{-\infty}^t F[x(\tau)] \cdot w_{II}(\tau) d\tau$ .

**12.1.13.** Почему исследование нелинейной системы при нескольких внешних воздействиях нельзя свести к совокупности исследований при каждом воздействии в отдельности?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) высокий порядок дифференциальных уравнений;
- 2) не выполняется принцип суперпозиции;
- 3) внешние воздействия приложены в разных точках.

### 12.3. Устойчивость состояний равновесия и процессов в нелинейных системах

12.3.1. Может ли быть устойчивой «в целом» система, не удовлетворяющая условию абсолютной устойчивости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) может;                      2) не может;                      3) мало данных.

12.3.2. Может ли быть устойчивой «в малом» система, не удовлетворяющая условию абсолютной устойчивости?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) может;                      2) не может;                      3) мало данных.

12.3.3. Устойчивый, полуустойчивый или неустойчивый предельный цикл изображен на рис. 12.31?

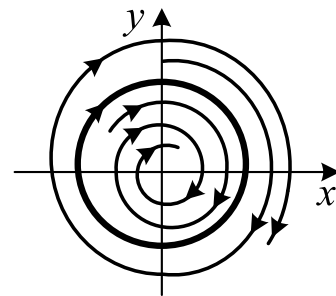


Рис. 12.31

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчивый;                      2) полуустойчивый;                      3) неустойчивый.

12.3.4. Нелинейная система описывается уравнениями

$$\frac{dx}{dt} = -2x + y, \quad \frac{dy}{dt} = -1,2x + x^2.$$

Исследуйте на устойчивость её положение равновесия ( $x_{10} = 0, y_{10} = 0$ ).

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчиво;                      3) устойчиво в большом;  
2) устойчиво в малом;                      4) устойчиво в целом;  
5) неустойчиво.



- 12.3.9. Оцените устойчивость невозмущенного движения системы по графикам функции Ляпунова  $V$  и ее производной  $dV/dt$ , представленным на рис. 12.36.

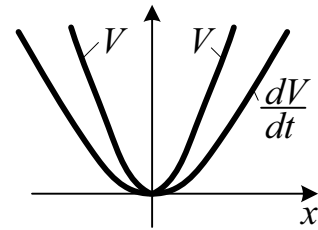


Рис. 12.36

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1) асимптотически устойчиво в большом; | 4) неустойчиво; |
| 2) асимптотически устойчиво в целом;   | 5) мало данных. |
| 3) устойчиво неасимптотически;         |                 |

- 12.3.10. Оцените устойчивость невозмущенного движения системы по графикам функции Ляпунова  $V$  и ее производной  $dV/dt$ , приведенным на рис. 12.37.

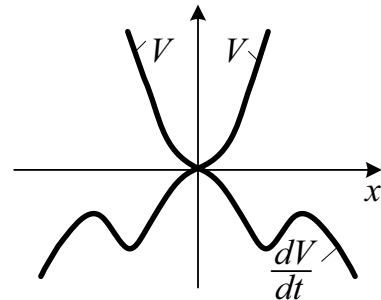


Рис. 12.37

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1) асимптотически устойчиво в большом; | 4) неустойчиво; |
| 2) асимптотически устойчиво в целом;   | 5) мало данных. |
| 3) устойчиво не асимптотически;        |                 |

- 12.3.11. Система описывается уравнениями

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2 ; \quad \frac{dx_2}{dt} = -(a + b \cdot \cos x_1) \cdot x_2 - c \cdot \sin x_1.$$

Определите выражение для  $dV/dt$ , если в качестве функции Ляпунова используется функция

$$V(x_1, x_2) = c \cdot (1 - \cos x_1) + \frac{x_2^2}{2}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x_2^2 (a + b \cos x_1) + 2c x_2 \sin x_1$ ;
- 2)  $-x_2^2 (a + b \cos x_1) + 2c \sin x_1 - 2c x_2 \sin x_1$ ;
- 3)  $c \sin x_1 + x_2$ ;
- 4)  $-x_2^2 (a + b \cos x_1)$ ;
- 5)  $2x_2 c \sin x_1 - x_2^2 (a + b \cos x_1)$ .

- 12.3.12. Для исследования устойчивости системы (рис. 12.38), описываемой уравнениями

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2; \quad \frac{dx_2}{dt} = -\alpha x_2 - k x_1,$$

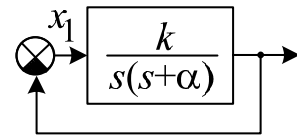


Рис. 12.38

выбрана функция Ляпунова вида

$$V(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2.$$

Удачен ли выбор функции Ляпунова?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) да;                                  2) нет;                                  3) мало данных.

- 12.3.13. Дана система, описываемая уравнениями

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2, \quad \frac{dx_2}{dt} = -z(x_1), \quad z(0) = 0.$$

В качестве функции Ляпунова выбрана функция

$$V(x) = \frac{x_2^2}{2} + \int_0^{x_1} z(\xi) d\xi.$$

Определите характер устойчивости положения равновесия.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) асимптотически устойчиво в целом;                                  4) устойчиво;  
2) асимптотически устойчиво в большом;                                  5) неустойчиво.  
3) асимптотически устойчиво в малом;

- 12.3.14. Система (рис. 12.39) описывается уравнениями

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2;$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -\alpha x_2 - k_2 x_2^3 - k_1 x_1;$$

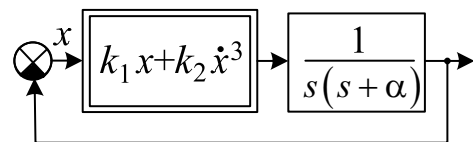


Рис. 12.39

$$x_1 = x, \quad x_2 = \frac{dx_1}{dt}.$$

Используя в качестве функции Ляпунова функцию

$$V(x_1, x_2) = k_1 x_1^2 + x_2^2,$$

определите условие устойчивости положения равновесия системы в целом.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $k_1 > 0$     2)  $k_1 > 0$     3)  $k_1 > 0$ ;    4)  $\alpha > 0$ ;    5)  $k_2 > 0$ ,  
 $k_2 > 0$ ;     $\alpha > 0$ ;                                   $\alpha > 0$ .

12.3.15. Необходимое или достаточное условие проверяется по критерию абсолютной устойчивости В.М. Попова?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) необходимое; 2) достаточное; 3) необходимое и достаточное; 4) мало данных.

12.3.16. Правильно ли записаны условия абсолютной устойчивости положения равновесия системы (рис. 12.40) по критерию В.М. Попова при однозначной нелинейности  $\Phi(x)$  и устойчивой линейной части:

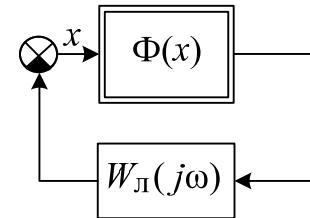


Рис. 12.40

$$\operatorname{Re} \left[ (1 + j\alpha\omega)W_{\text{Л}}(j\omega) + \frac{1}{k} \right] > 0; \quad 0 < \frac{\Phi(x)}{x} < k?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) правильно; 2) неправильно; 3) мало данных.

12.3.17. Какая из прямых линий, приведенных на рис. 12.41, является прямой В.М. Попова?

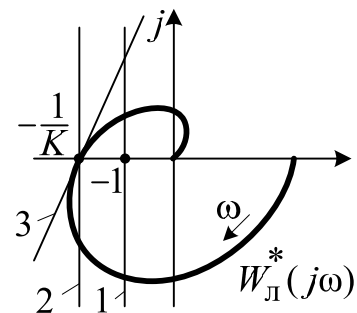


Рис. 12.41

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) ни одна из приведенных.

12.3.18. Устойчиво ли положение равновесия в системе с приведенными на рис. 12.42 характеристикой  $\Phi(x)$  нелинейного элемента и годографом  $W_{\text{Л}}(j\omega)$  линейной части?

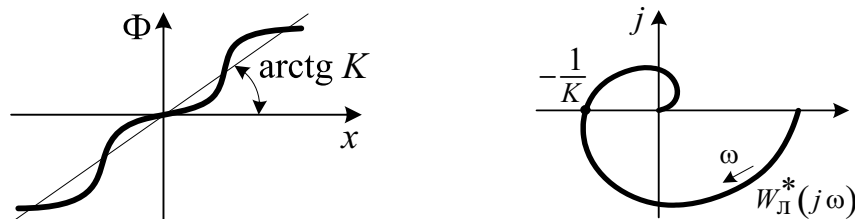


Рис. 12.42

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчиво; 2) неустойчиво; 3) мало данных.



**12.3.19.** Определите максимальный сектор  $(k_{\min}, k_{\max})$  абсолютной устойчивости положения равновесия системы, приведенной на рис. 12.43.

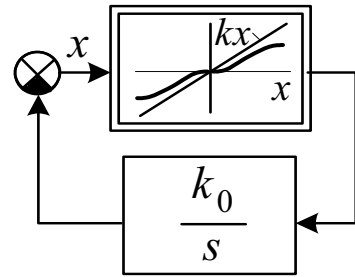


Рис. 12.43

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                                      |  |
|-----------------|--------------------------------------|--|
| 1) мало данных; | 3) $\left(0, \frac{1}{k_0}\right)$ ; | 4) $(0, \infty)$ ;                               |
| 2) $(0, k)$ ;   |                                      | 5) $(\varepsilon, \infty)$ , $\varepsilon > 0$ . |

**12.3.20.** Определите максимальную верхнюю границу сектора  $(0, \operatorname{tg} \alpha)$  из условия абсолютной устойчивости положения равновесия системы (рис. 12.44) при заданном годографе  $W_{\text{Л}}(j\omega)$  линейной части.

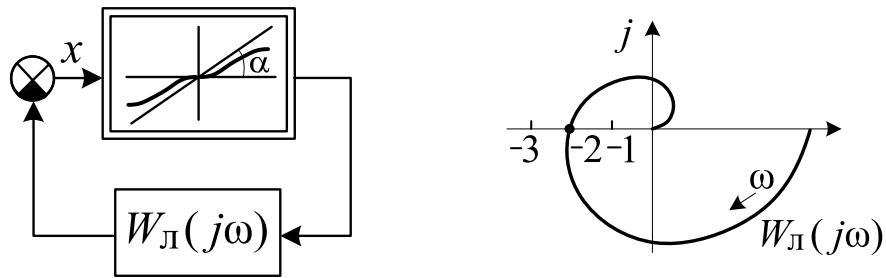


Рис. 12.44

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 2;    2) 1;    3) 0,5;    4) 3;    5) мало данных.

**12.3.21.** Для системы (рис. 12.45) с однозначной нелинейностью  $\Phi(x)$ , лежащей в секторе  $(0, 2)$ , определите предельное значение коэффициента  $k_0$ , при котором обеспечивается абсолютная устойчивость положения равновесия системы.

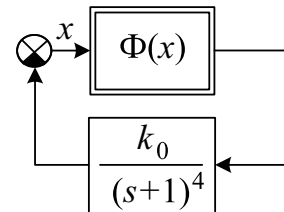


Рис. 12.45

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 4;    2)  $1/\sqrt{2}$ ;    3)  $\sqrt{2}$ ;    4) 1/2;    5) 2.

**12.3.22.** Устойчиво ли положение равновесия системы с единичной отрицательной обратной связью, если однозначная нелинейная характеристика принадлежит сектору  $(0,1)$ , а линейная часть описывается передаточной функцией

$$W_{\text{Л}}(s) = \frac{1}{a_n s^n + \dots + a_1 s + 1} ?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчиво;            2) неустойчиво;            3) мало данных.

**12.3.23.** При каком максимальном значении  $k = \arctg \alpha$  критерий абсолютной устойчивости В.М. Попова гарантирует устойчивость положения равновесия в системе (рис. 12.46) с заданным модифицированным годографом  $W_{\text{Л}}^*(j\omega)$  линейной части?

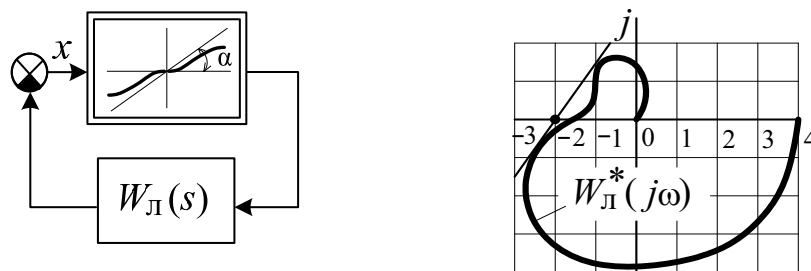


Рис. 12.46

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 2/3;            2) 0,5;            3) 4;            4) 1/3;            5) 0,25.

**12.3.24.** Правильно ли записаны условия абсолютной устойчивости процесса, вызванного ограниченным по модулю внешним воздействием  $f(t)$  в системе (рис. 12.47) с однозначной нелинейностью  $\Phi(x)$  и устойчивой линейной частью:

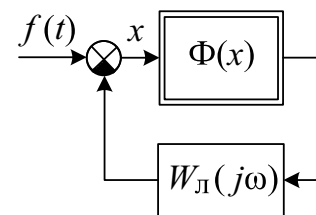


Рис. 12.47

$$\operatorname{Re} \left[ (1 + j\alpha\omega) W_{\text{Л}}(j\omega) + \frac{1}{k} \right] > 0; \quad \alpha > 0$$

$$0 < d\Phi(x)/dt < k ?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) правильно;            2) неправильно;            3) мало данных.

12.3.25. Определите условие, накладываемое на производную  $d\Phi(x)/dx$  характеристики нелинейного элемента критерием абсолютной устойчивости процессов, если линейная часть системы (рис. 12.48) устойчива, а  $f(t)$  ограничено по модулю.

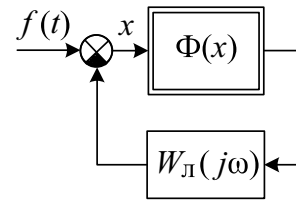


Рис. 12.48

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $r < d\Phi(x)/dx < k + r, r > 0;$
- 2)  $\varepsilon < d\Phi(x)/dx < k - \varepsilon, \varepsilon > 0;$
- 3)  $-\varepsilon < d\Phi(x)/dx < k - \varepsilon, \varepsilon > 0;$
- 4)  $0 < d\Phi(x)/dx < k - \varepsilon, \varepsilon > 0;$
- 5)  $\varepsilon < d\Phi(x)/dx < k, \varepsilon > 0;$

12.3.26. Устойчив ли процесс в системе, вызванный ограниченным по модулю внешним воздействием  $f(t)$ , если годограф  $W_L(j\omega)$  её устойчивой линейной части имеет представленный на рис. 12.49 вид и  $0 < d\Phi(x)/dx < 0,4$ ?

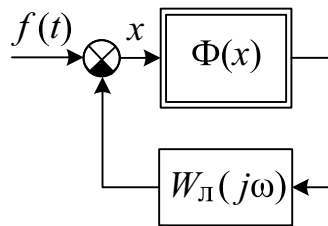
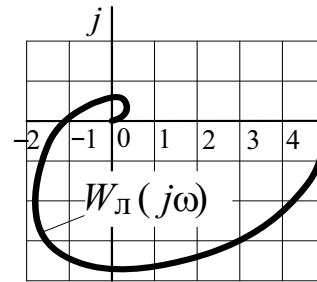


Рис. 12.49



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчив;
- 2) неустойчив;
- 3) мало данных.

12.3.27. Устойчив ли процесс в системе, вызванный ограниченным по модулю внешним воздействием  $f(t)$ , если  $0 < d\Phi(x)/dx \leq 1$  и годограф  $W_L(j\omega)$  её устойчивой линейной части имеет представленный на рис. 12.50 вид?

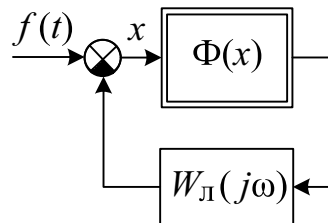
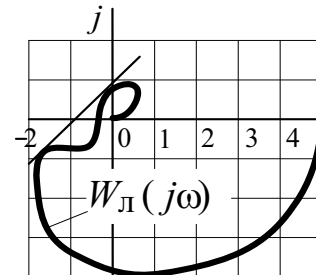


Рис. 12.50



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчив;
- 2) неустойчив;
- 3) мало данных.

## 12.4. Исследование периодических режимов методом гармонической линейаризации

- 12.4.1.** Каково аналитическое выражение эквивалентного коэффициента гармонической линейаризации  $W_H(A)$  идеального релейного элемента (рис. 12.51), если  $x(t) = A \cdot \sin \omega t$ ?

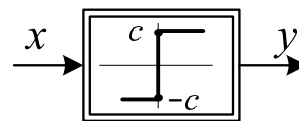


Рис. 12.51

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{c}{\pi A}$ ;                      3)  $\frac{4c}{\pi A} \sqrt{1 - \left(\frac{c}{A}\right)^2}$ ;                      5)  $\frac{c}{\pi A} \sqrt{1 - \left(\frac{c}{A}\right)^2}$ .
- 2)  $\frac{4c}{\pi A}$ ;                      4)  $\frac{2c}{\pi A}$ ;

- 12.4.2.** Определите коэффициент гармонической линейаризации  $q(A)$  нелинейного звена с приведенной на рис. 12.52 статической характеристикой при  $x = A \sin \omega t$ ,  $A \geq b$ .

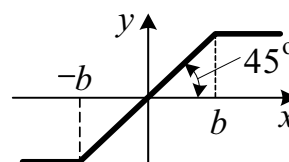


Рис. 12.52

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{2}{\pi} \left( \arcsin \frac{b}{A} + \sqrt{1 - \frac{b^2}{A^2}} \right)$ ;                      3)  $\frac{2}{\pi} \left( \arcsin \frac{b}{A} + \frac{b}{A} \sqrt{1 - \frac{b^2}{A^2}} \right)$ ;
- 2)  $\frac{2b}{\pi A} \sqrt{1 - \frac{b^2}{A^2}}$ ;                      4)  $\frac{2b}{\pi A} \arcsin \frac{b}{A}$ .

- 12.4.3.** Какой вид имеет график зависимости коэффициента гармонической линейаризации  $q(A)$  нелинейного звена с приведенной на рис. 12.53 характеристикой от амплитуды  $A$  входного сигнала?

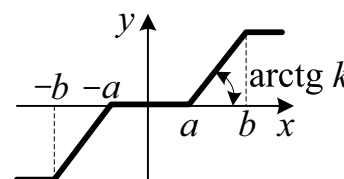
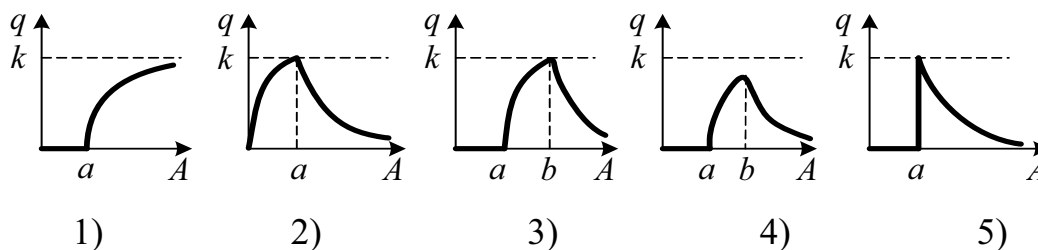


Рис. 12.53

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**12.4.4.** Какой вид имеет график зависимости коэффициента гармонической линейризации  $q(A)$  нелинейного звена с приведенной на рис. 12.54 характеристикой от амплитуды  $A$  входного сигнала?

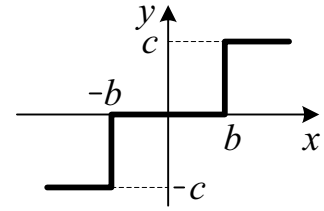
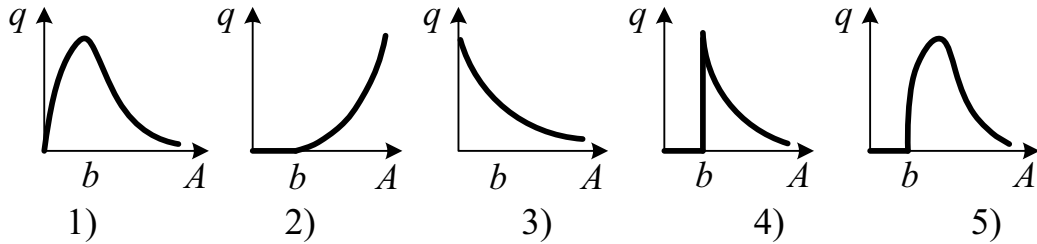


Рис. 12.54

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**12.4.5.** Определите коэффициент гармонической линейризации  $q(A, x_0)$  нелинейного звена, описываемого функцией  $y = x^3$ , при входном сигнале  $x(t) = x_0 + A \sin \omega t$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{lll}
 1) \frac{3}{\pi} \left( x_0^2 + \frac{A^2}{4} \right); & 3) 3 \left( x_0^2 + \frac{A^2}{4} \right); & 5) \frac{3}{\pi} x_0^2. \\
 2) \frac{1}{\pi} \left( x_0^2 + \frac{A^2}{4} \right); & 4) x_0^2 + \frac{A^2}{4}; & 
 \end{array}$$

**12.4.6.** Определите коэффициент гармонической линейризации  $q(A, x_0)$  идеального релейного элемента (рис. 12.55), если  $x(t) = x_0 + A \sin \omega t$ , ( $A > |x_0|$ ).

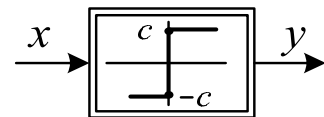


Рис. 12.55

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{llll}
 1) \frac{4c}{\pi A} \sqrt{1 - \left( \frac{x_0}{A} \right)^2}; & 2) \frac{4c}{\pi A} \sqrt{1 - \left( \frac{1}{A} \right)^2}; & 3) \frac{4c}{\pi A} x_0; & 4) \frac{4c}{\pi A}.
 \end{array}$$

**12.4.7.** Определите функцию смещения  $F_0(A, x_0)$  при гармонической линеаризации релейного элемента (рис. 12.56), если  $x(t) = x_0 + A \sin \omega t$  и  $A > x_0$ .

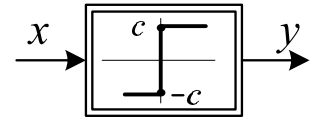


Рис. 12.56

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{2c}{\pi} \arcsin \frac{x_0}{A}$ ;      3)  $\frac{2c}{\pi} \arcsin \frac{\pi}{A}$ ;      5)  $\frac{2c}{\pi} \arcsin \frac{x_0}{A}$ .  
 2) 0;      4)  $\frac{4cx_0}{\pi A}$ ;

**12.4.8.** По эквивалентному комплексному коэффициенту передачи

$$W_H(A) = \frac{4c}{\pi A^2} \sqrt{A^2 - b^2} - j \frac{4cb}{\pi A^2}, \quad A \geq b$$

нелинейности (рис. 12.57) найдите аналитическое выражение его эквивалентной фазовой характеристики.

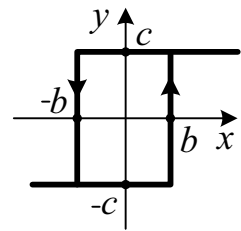


Рис. 12.57

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $-\arctg \frac{A}{\sqrt{A^2 - b^2}}$ ;      3)  $-\arctg \frac{b}{\sqrt{A^2 - b^2}}$ ;  
 2)  $\arctg \frac{1}{\sqrt{A^2 - b^2}}$ ;      4)  $\arctg \frac{A}{\sqrt{A^2 - b^2}}$ .

**12.4.9.** Коэффициенты гармонической линеаризации приведенной на рис. 12.58 нелинейности равны:

$$q(A) = \frac{4c}{\pi A^2} \sqrt{A^2 - b^2}; \quad q'(A) = -\frac{4cb}{\pi A^2};$$

$(A > b)$ .

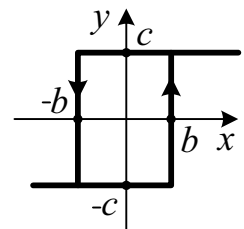
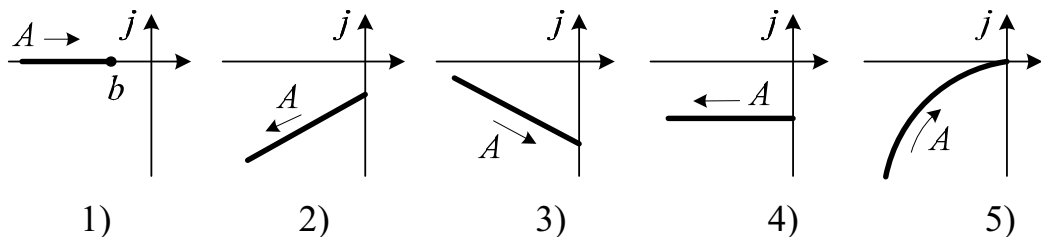


Рис. 12.58

Какой вид имеет годограф  $-1/W_H(A)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:





12.4.14. По характеристическому уравнению

$$s(0,1s+1)(s+1) + K \cdot q(A) = 0$$

гармонически линеаризованной системы определите частоту возможного периодического решения.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 10;      2)  $\sqrt{10}$ ;      3)  $1/\sqrt{10}$ ;      4) 1;      5) 0,1.

12.4.15. Определите частоту автоколебаний в гармонически линеаризованной системе, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 12.62.

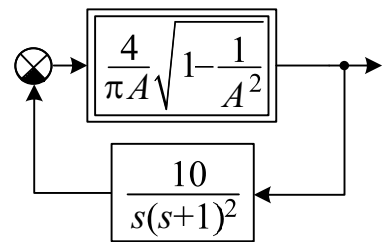


Рис. 12.62

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;      2) 2;      3) 0,5;      4) 10;      5) 50.

12.4.16. Определите амплитуду автоколебаний в гармонически линеаризованной системе, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 12.63.

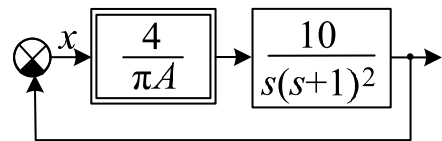


Рис. 12.63

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{10}{\pi}$ ;      2)  $\frac{40}{\pi}$ ;      3)  $\frac{1}{\pi}$ ;      4) 0;      5)  $\frac{20}{\pi}$ .

12.4.17. Как изменится частота автоколебаний в гармонически линеаризованной системе (рис. 12.64) с увеличением коэффициента  $K$  ?

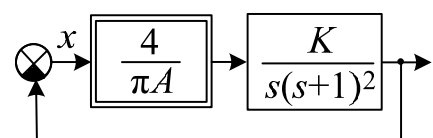


Рис. 12.64

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) увеличивается;      3) уменьшается;  
2) остается неизменной;      4) мало данных.



12.4.18. При каких значениях коэффициента передачи  $K > 0$  в системе с приведенной на рис. 12.65 операторно-структурной схемой амплитуда автоколебаний  $A_{\text{п}} < 8$ ?

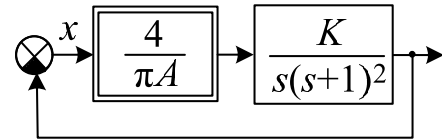


Рис. 12.65

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K < 1$ ;    2)  $K < \pi$ ;    3)  $K < 2\pi$ ;    4)  $K > 2\pi$ ;    5)  $K < 4\pi$ .

12.4.19. При каком значении параметра  $c$  нелинейного элемента амплитуда автоколебаний в гармонически линеаризованной системе, операторно-структурная схема которой показана на рис. 12.66, равна 2?

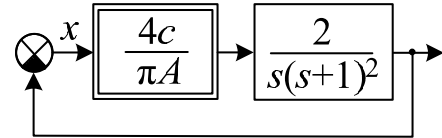


Рис. 12.66

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $4\pi$ ;    2)  $\pi/8$ ;    3)  $\pi/2$ ;    4)  $\pi/4$ ;    5)  $2\pi$ .

12.4.20. Каково условие для определения параметров периодических решений методом гармонической линеаризации в приведенной на рис. 12.67 системе?

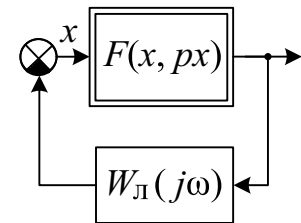


Рис. 12.67

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $W_L(j\omega) W_H(A, \omega) = 1$ ;    3)  $W_L(j\omega) W_H(A, \omega) = -1$ ;  
 2)  $W_L(j\omega) W_H(A, \omega) = 0$ ;    4)  $W_L(j\omega) W_H(A, \omega) = -\pi$ .

12.4.21. Каково условие баланса фаз гармонически линеаризованной нелинейной системы (рис. 12.68) при автоколебаниях?

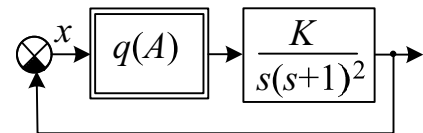


Рис. 12.68

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\arctg \omega = -\pi/2$ ;    4)  $\arctg \omega = \pi/2$ ;  
 2)  $\arctg \frac{1-\omega^2}{2\omega} = \pi$ ;    5)  $\arctg \frac{1-\omega^2}{2\omega} = -\frac{\pi}{2}$ .  
 3)  $\arctg \omega = \pi/4$ ;

12.4.22. Каково условие баланса амплитуд гармонически линеаризованной нелинейной системы (рис. 12.69) при автоколебаниях?

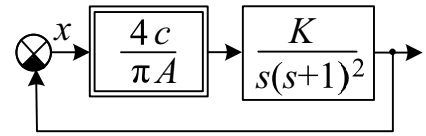


Рис. 12.69

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

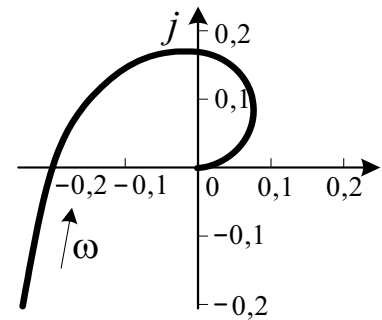
1)  $\frac{4c}{\pi A} \cdot \frac{K}{\omega(\omega^2 + 1)} = 1;$

3)  $\frac{4c}{\pi A} K = 1;$

2)  $\frac{4c}{\pi A} = \frac{K}{\omega(\omega^2 + 1)};$

4)  $\frac{4c}{\pi A} \cdot \frac{K}{\omega(\omega^2 + 1)} = -1.$

12.4.23. Определите амплитуду автоколебаний в гармонически линеаризованной системе, если АФГ ее линейной части имеет вид, показанный на рис. 2.70, а эквивалентный комплексный коэффициент передачи нелинейного элемента



$$W_H(A) = \frac{40}{\pi A}.$$

Рис. 12.70

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $200/\pi;$     2)  $8/\pi;$     3)  $0,2;$     4)  $5;$     5)  $4/\pi.$

12.4.24. Определите амплитуду автоколебаний в гармонически линеаризованной системе, если АФГ линейной части  $W_L(j\omega)$  и годограф  $-1/W_{HЭ}(A)$  гармонически линеаризованного нелинейного элемента имеют представленный на рис. 12.71 вид.

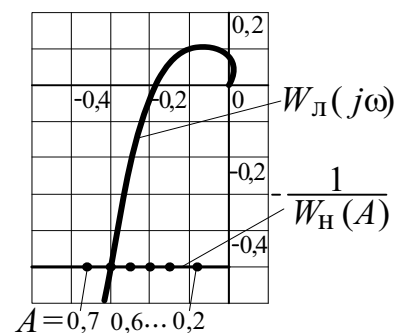


Рис. 12.71

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $0,2;$     2)  $0,3;$     3)  $0,4;$     4)  $0,5;$     5)  $0,6.$

12.4.25. Определите частоту и амплитуду возможных автоколебаний в замкнутой САР, если амплитудно-фазовый годограф её линейной части  $W_{\text{л}}(j\omega)$  и годограф  $-1/W_{\text{нэ}}(A)$  гармонически линеаризованного нелинейного элемента имеют вид, показанный на рис. 12.72.

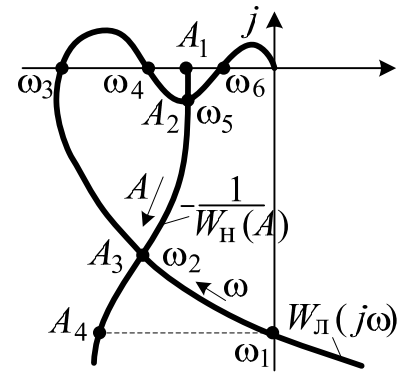


Рис. 12.72

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\omega_2, A_3$ ;                      3)  $\omega_2, A_3; \omega_5, A_2$ ;                      5) мало данных.  
 2)  $\omega_5, A_2$ ;                      4)  $\omega_1, A_1$ ;

12.4.26. Определите амплитуду автоколебаний в системе, если ЛАЧХ  $L_{\text{л}}(\omega)$  и ЛФЧХ  $\varphi_{\text{л}}(\omega)$  ее линейной части имеют представленный на рис. 12.73 вид и эквивалентный коэффициент передачи нелинейного элемента

$$W_{\text{н}}(A) = \frac{30}{\pi A}.$$

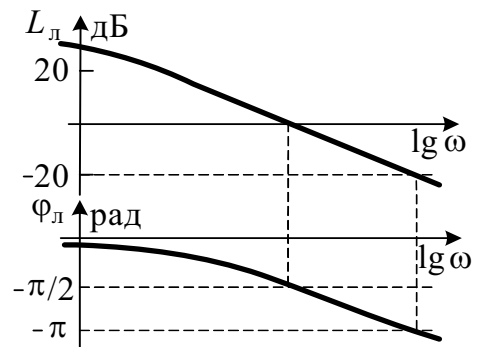


Рис. 12.73

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $3/\pi$ ;                      2)  $300/\pi$ ;                      3) 30;                      4)  $30/\pi$ ;                      5) 3.

12.4.27. Дана нелинейная система, ЛЧХ линейной части которой имеют приведенный на рис. 12.74 вид, а нелинейный элемент описывается функцией

$$F(x) = \begin{cases} c, & x > b, \\ 0, & -b \leq x \leq b, \\ -c, & x < -b. \end{cases}$$

Определите частоту возможных автоколебаний.

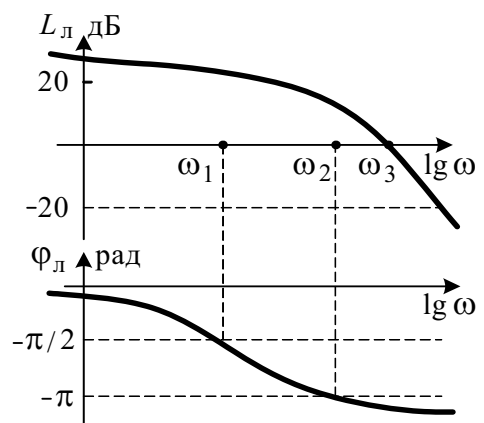


Рис. 12.74

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\omega_1$ ;                      3)  $\omega_3$ ;                      5) мало данных.  
 2)  $\omega_2$ ;                      4) автоколебания невозможны;                      6) мало данных.

12.4.28. Дана нелинейная система, ЛЧХ линейной части которой имеют приведенный на рис. 12.75 вид, а нелинейный элемент описывается функцией

$$F(x) = \begin{cases} c, & x > b, \\ kx, & -b \leq x \leq b, \\ -c, & x < -b. \end{cases}$$

С какой частотой возможны автоколебания в системе?

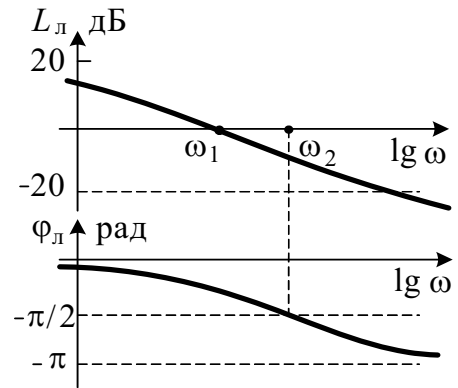


Рис. 12.75

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| 1) $\omega_1$ ; | 3) автоколебания невозможны; |
| 2) $\omega_2$ ; | 4) мало данных.              |

12.4.29. Определите частоту автоколебаний в системе, если ЛАЧХ  $L_L(\omega)$  и ЛФЧХ  $\varphi_L(\omega)$  ее линейной части имеют показанный на рис. 12.76 вид, а гармонически линеаризованный нелинейный элемент описывается функцией  $W_H(A, \omega)$ .

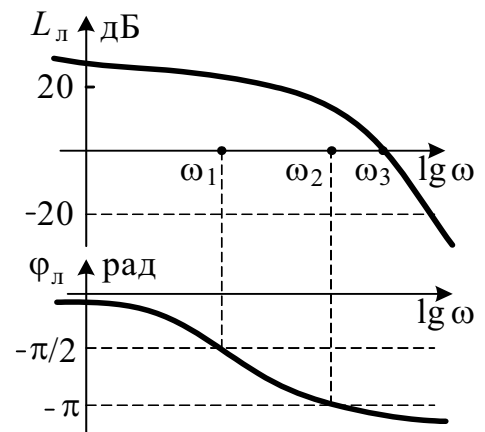


Рис. 12.76

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1) $\omega_1$ ; | 2) $\omega_2$ ; | 3) $\omega_3$ ; | 4) мало данных. |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|

12.4.30. На рис. 12.77 приведена зависимость амплитуды  $A$  свободных колебаний нелинейной системы от параметра  $K$ . Направления изменения амплитуды показаны стрелками. Какова амплитуда автоколебаний при  $K = 15$ ?

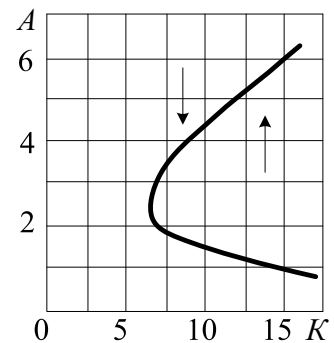


Рис. 12.77

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |         |       |        |               |
|-------|---------|-------|--------|---------------|
| 1) 1; | 2) 2,5; | 3) 6; | 4) 10; | 5) $\infty$ . |
|-------|---------|-------|--------|---------------|

12.4.31. На рис. 12.78 приведена зависимость амплитуды  $A$  свободных колебаний в гармонически линеаризованной нелинейной системе от варьируемого параметра  $K$  и стрелками показаны направления изменения амплитуды. К какому значению стремится амплитуда  $A$  свободных колебаний системы в области  $D_1$ ?

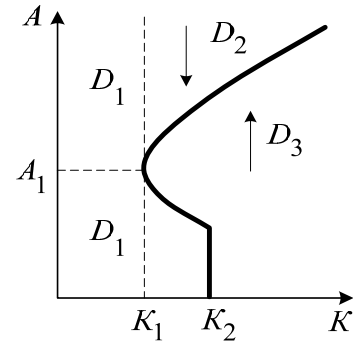


Рис.12.78

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;                      2)  $\infty$ ;                      3)  $A_1$ ;                      4) мало данных.

12.4.32. На рис. 12.79 приведена зависимость амплитуды  $A$  свободных колебаний в гармонически линеаризованной нелинейной системе от варьируемого параметра  $K$  и показаны стрелками направления изменения амплитуды. Мягкое или жесткое самовозбуждение в системе при  $K = K_1$ ?

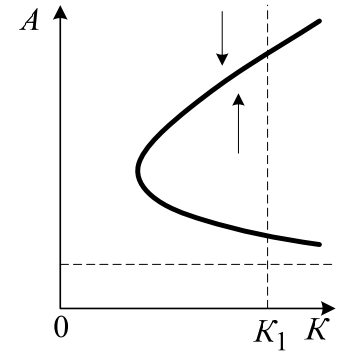


Рис. 12.79

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) мягкое;                      2) жесткое;                      3) мало данных.

12.4.33. Оцените устойчивость периодического решения по приведенным на рис. 12.80 годографу  $W_{\Pi}(j\omega)$  линейной части и годографу  $-1/W_H(A)$  обратного эквивалентного комплексного коэффициента передачи нелинейного элемента системы.

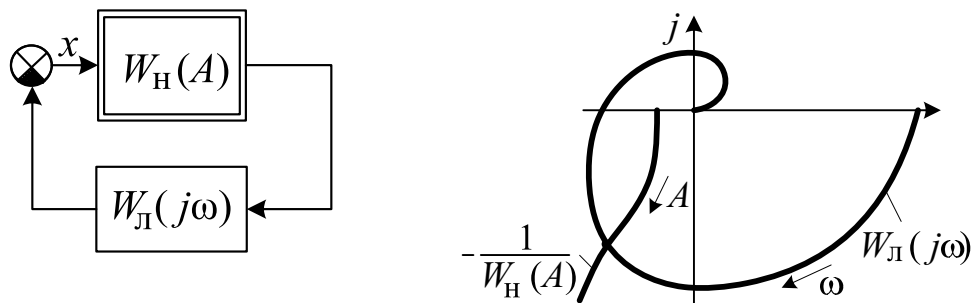


Рис. 12.80

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчиво;                      2) неустойчиво;                      3) мало данных.

12.4.34. Замкнутая гармонически линеаризованная нелинейная САУ имеет приведенные на рис. 12.81 годограф  $W_{\text{Л}}(j\omega)$  линейной части и годограф  $-1/W_{\text{Н}}(A)$  нелинейного элемента. Затухающими или расходящимися будут собственные движения в системе?

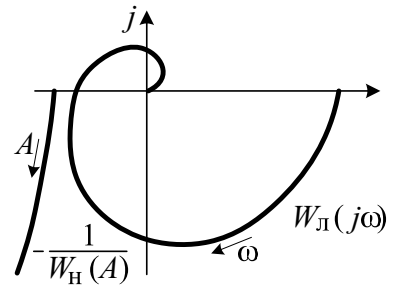


Рис. 12.81

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) затухающие;      2) незатухающие;      3) расходящиеся.

12.4.35. Оцените устойчивость периодического движения гармонически линеаризованной системы третьего порядка по приведенному на рис. 12.81 годографу вектора

$$D(j\omega) = Q(j\omega) + P(j\omega) [q(A) + jq'(A)].$$

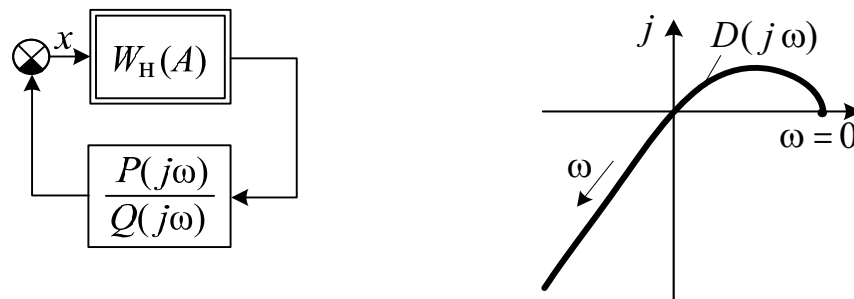


Рис. 12.81

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) устойчиво;      2) неустойчиво;      3) мало данных.

12.4.36. В каком виде записывается воздействие на входе нелинейного элемента при исследовании симметричных колебательных переходных процессов с амплитудой  $A$ , частотой  $\omega$  и декрементом затухания  $\xi$  в нелинейных САУ методом гармонической линеаризации?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $A \cdot \sin \omega t$ ;      3)  $A \cdot e^{\xi t}$ ;      5)  $A \cdot e^{\xi t} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ .  
 2)  $A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ ;      4)  $A \cdot 1(t)$ ;

12.4.37. По диаграмме качества гармонически линеаризованной нелинейной САР (рис. 12.82) определите вид кривой переходного процесса  $x(t) = A \cdot e^{\xi t} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ , соответствующего начальной точке  $M_0$ .

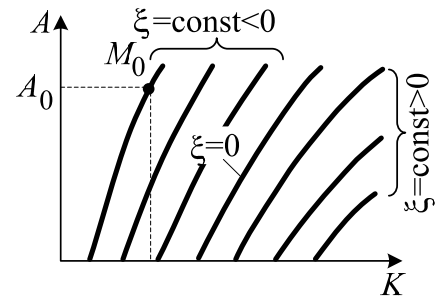
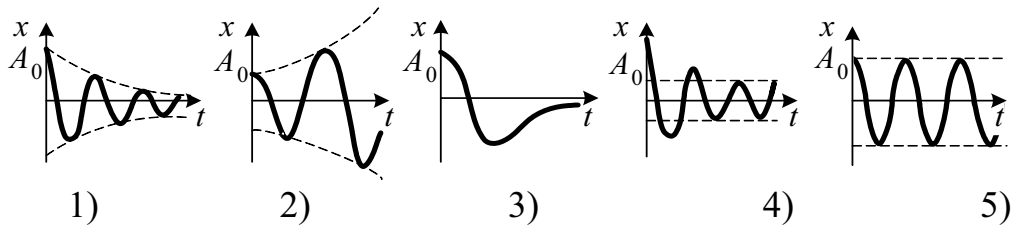


Рис. 12.82

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



12.4.38. По диаграмме качества гармонически линеаризованной нелинейной САР (рис. 12.83) определите вид кривой переходного процесса  $x(t) = A \cdot e^{\xi t} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ , соответствующего начальной точке  $M_0$ .

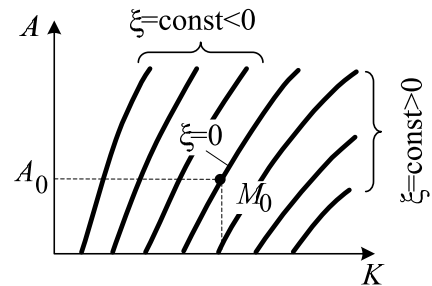
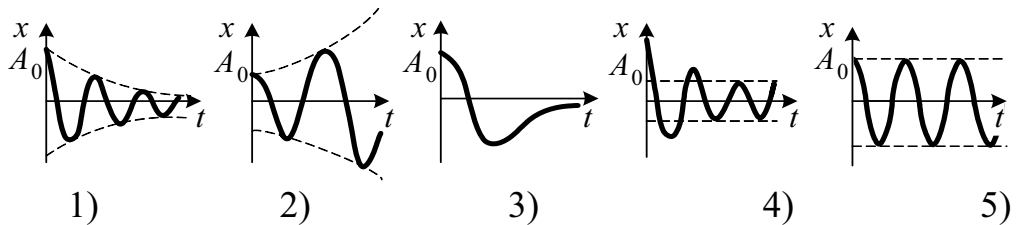


Рис. 12.83

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



12.4.39. По диаграмме качества гармонически линеаризованной нелинейной САР (рис. 12.84) определите вид кривой переходного процесса  $x(t) = A \cdot e^{\xi t} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ , соответствующего начальной точке  $M_0$ .

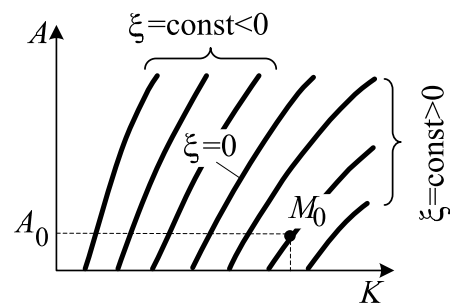
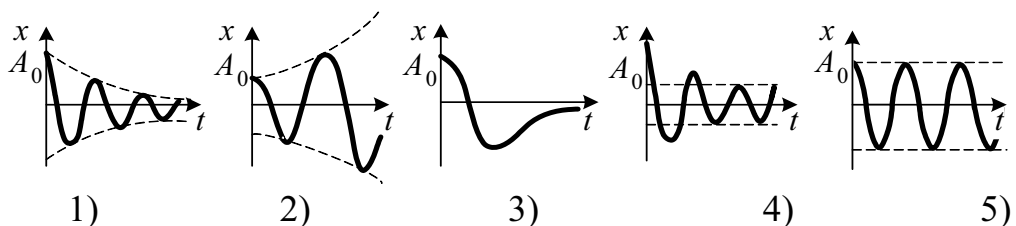


Рис. 12.84

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**12.4.40.** По приведенной на рис. 12.85 диаграмме качества гармонически линеаризованной нелинейной системы при  $K = 2$  приблизительно оцените время изменения амплитуды колебаний  $A \cdot e^{\xi t} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$  от  $A_1 = 2,7$  до  $A_2 = 1$ .

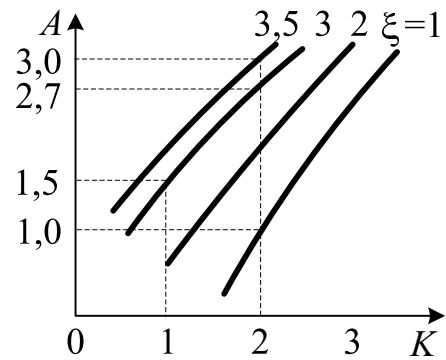


Рис. 12.85

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,05 с;    2) 0,1 с;    3) 0,3 с;    4) 0,4 с;    5) 0,5 с.

**12.4.41.** Можно ли получить эффект вибрационной линеаризации в замкнутой нелинейной системе без внешнего источника колебаний?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) можно;    2) нельзя;    3) мало данных.

**12.4.42.** Уравнение  $1 + W_{\text{л}}(j\omega)W_{\text{н}}(A, \omega) = 0$  гармонически линеаризованной системы имеет только вещественные корни. Существуют ли автоколебания в системе, если условия применения метода гармонической линеаризации выполняются?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) да;    2) нет;    3) мало данных.



## ГЛАВА 13

### СТАТИСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 13.1. Характеристики случайных процессов

**13.1.1.** Какое выражение соответствует математическому ожиданию  $m_x(t)$  случайной функции  $x(t)$  с плотностью вероятности  $p(x,t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $m_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot p(x,t) dx$ ;      4)  $m_x(t) = x(t) p(x,t)$ ;  
2)  $m_x(t) = p(x,t) \int_{-\infty}^{\infty} x(t) dx$ ;      5)  $m_x(t) = \int_0^{\infty} x(t) \cdot p(x,t) dx$ .  
3)  $m_x(t) = x(t) \int_{-\infty}^x p(x,t) dx$ ;

**13.1.2.** Каким выражением определяется дисперсия  $D_x(t)$  случайной функции  $x(t)$  с плотностью вероятности  $p(x,t)$  и математическим ожиданием  $m_x(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $D_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - m_x(t)] \cdot p(x,t) dx$ ;  
2)  $D_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - m_x(t)]^2 \cdot p(x,t) dx$ ;  
3)  $D_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t)]^2 \cdot p(x,t) dx$ ;  
4)  $D_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [m_x(t)]^2 \cdot p(x,t) dx$ ;  
5)  $D_x(t) = [x(t) - m_x(t)]^2 \cdot p(x,t)$ .



**13.1.7.** По реализациям стационарных случайных процессов  $x(t)$  и  $y(t)$  (рис. 13.1) определите, какому из них соответствует корреляционная функция  $R(\tau)$ , более интенсивно убывающая с ростом модуля её аргумента  $\tau$ .

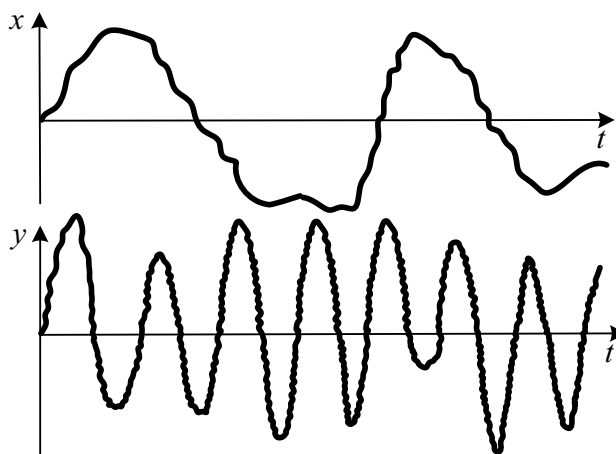


Рис. 13.1

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                      |                                       |
|----------------------|---------------------------------------|
| 1) процессу $x(t)$ ; | 3) интенсивность затухания одинакова; |
| 2) процессу $y(t)$ ; | 4) мало данных.                       |

**13.1.8.** Каким выражением определяется связь между спектральной плотностью  $S(\omega)$  и корреляционной функцией  $R(\tau)$  для стационарного случайного процесса?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $S(\omega) = R(\tau) \cdot \cos \omega \tau$ ;                         | 4) $S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{j\omega\tau} d\omega$ ;      |
| 2) $S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \omega^2 d\omega$ ;       | 5) $S(\omega) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} [R(\tau)]^2 \cos \omega \tau d\tau$ . |
| 3) $S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$ ; |   |

**13.1.9.** Определите спектральную плотность стационарного случайного сигнала с автокорреляционной функцией  $R(\tau) = D e^{-\alpha|\tau|}$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |  |
|---|---|--|
| 1) $\frac{2D\omega}{\alpha^2 + \omega^2}$ ; | 3) $\frac{D\alpha}{\alpha + j\omega}$ ;     | 5) $\frac{D\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}$ . |
| 2) $\frac{2D\alpha}{\alpha^2 - \omega^2}$ ; | 4) $\frac{2D\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}$ ; |  |

**13.1.10.** Какова размерность спектральной плотности стационарного случайного сигнала  $x(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                      |                                   |
|----------------------|-----------------------------------|
| 1) $[x^2]$ ;         | 4) $\left[\frac{x^2}{t}\right]$ ; |
| 2) $[x^2 \cdot t]$ ; |                                   |
| 3) $[t^2]$ ;         | 5) $\left[\frac{1}{t^2}\right]$ . |

**13.1.11.** Каким выражением определяется связь между дисперсией  $D$  и спектральной плотностью  $S(\omega)$  для центрированной случайной функции?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |   |
|--|---|
| 1) $D = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega + R(0)$ ; | 4) $D = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega$ ; |
| 2) $D = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega$ ;        | 5) $D = \frac{dS(\omega)}{d\omega} \cos \omega \tau$ .                            |
| 3) $D = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega$ ;                               |   |

**13.1.12.** Заданы спектральные плотности случайных процессов  $x(t)$  и  $y(t)$  (рис. 13.2). Определите, какому из них соответствует более интенсивное затухание корреляционной функции  $R(\tau)$  с ростом модуля  $\tau$ .

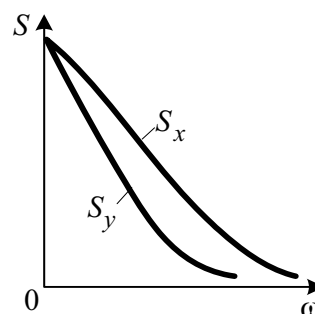


Рис. 13.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                      |                                       |
|----------------------|---------------------------------------|
| 1) процессу $x(t)$ ; | 3) интенсивность затухания одинакова; |
| 2) процессу $y(t)$ ; | 4) мало данных.                       |

13.1.13. Какой вид графика корреляционной функции  $R(\tau)$  соответствует приведенной на рис. 13.3 спектральной плотности  $S(\omega)$ ?

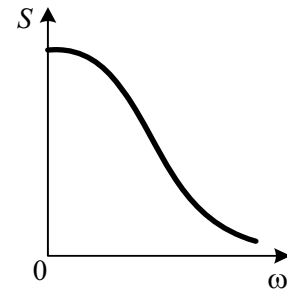
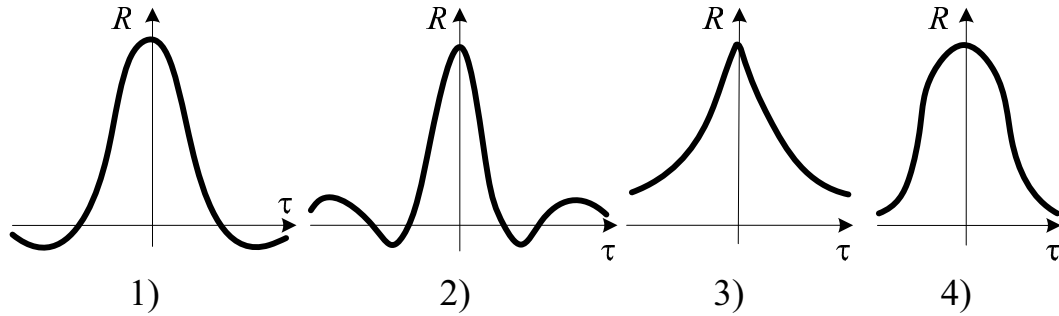


Рис. 13.3

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



13.1.14. Найдите среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  случайного процесса по его корреляционной функции (рис. 13.4).

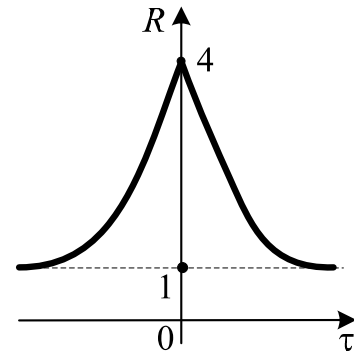


Рис. 13.4

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 2;      2) 3;      3) 1;      4) 5;      5)  $\sqrt{3}$ .

13.1.15. Определите дисперсию случайного процесса по его корреляционной функции (рис. 13.5).

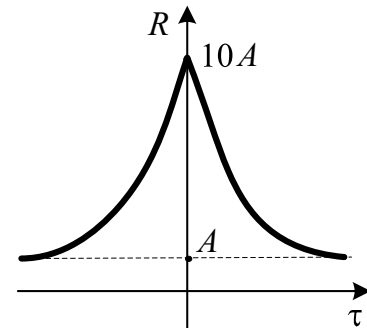
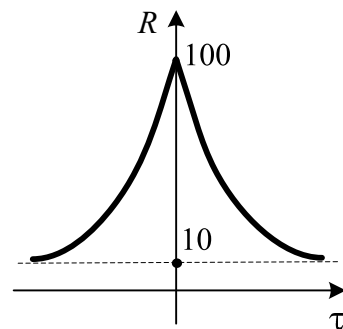


Рис. 13.5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $10 A$ ;    2)  $\sqrt{10 A}$ ;    3)  $9 A$ ;    4)  $11 A$ ;    5) мало данных.

**13.1.16.** Найдите математическое ожидание стационарного случайного процесса по его корреляционной функции (рис. 13.6).



ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 10;    2) 100;    3)  $\sqrt{10}$ ;    4) 90;    5) мало данных.

Рис. 13.6

**13.1.17.** Автокорреляционная функция выходного сигнала  $y(t)$  системы

$$R_y(\tau) = R_0 e^{-\alpha|\tau|} \left[ \cos \beta \tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta |\tau| \right].$$

Определите среднеквадратическое отклонение  $\sigma_y$  и математическое ожидание  $m_y$  сигнала  $y(t)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sigma_y = 0, \quad m_y = \sqrt{R_0}$ ;  
 2)  $\sigma_y = \sqrt{R_0}, \quad m_y = R_0$ ;  
 3)  $\sigma_y = \sqrt{R_0}, \quad m_y = 0$ ;  
 4)  $\sigma_y = R_0, \quad m_y = 0$ ;  
 5)  $\sigma_y = R_0^2, \quad m_y = 0$ .

**13.1.18.** Каким выражением определяется корреляционная функция  $R_x(\tau)$  для случайного процесса с представленной на рис. 13.7 спектральной плотностью  $S(\omega)$ ?

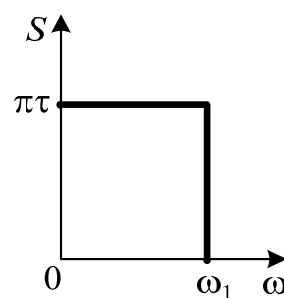


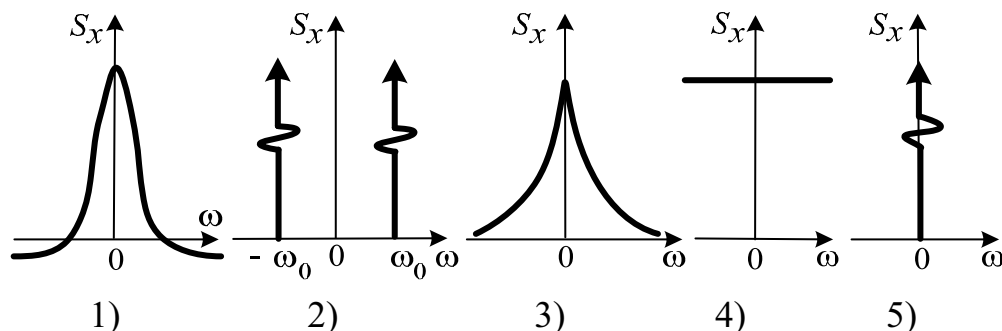
Рис. 13.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\pi \cdot \tau \cdot \sin \omega_1 \tau$ ;    3)  $\pi \cdot \tau \cdot \omega_1$ ;    5)  $\pi \cdot \tau \cdot \cos \omega_1 \tau$ .  
 2)  $\sin \omega_1 \tau$ ;    4)  $\frac{1}{\pi \tau} \cdot \sin \omega_1 \tau$ ;

13.1.19. Каков график спектральной плотности  $S_x(\omega)$  сигнала  $x(t)$ , автокорреляционная функция которого  $R_x(\tau) = a^2 \cos \omega_0 \tau$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



13.1.20. Какой вид имеет график спектральной плотности  $S(\omega)$  случайного сигнала, автокорреляционная функция которого  $R(\tau)$  приведена на рис. 13.8?

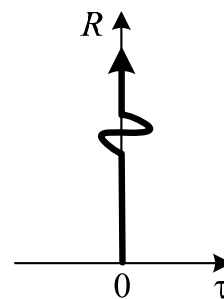
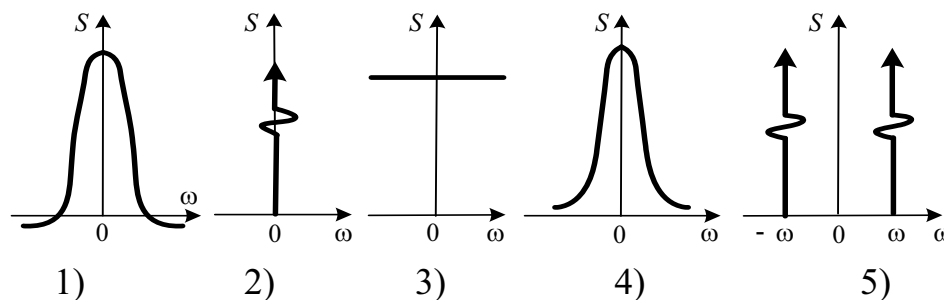


Рис. 13.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



13.1.21. Определите нормированную корреляционную функцию процессов  $x(t)$  и  $y(t)$ , если их автокорреляционные функции равны, соответственно,  $R_x(t_1, t_2)$ ,  $R_y(t_1, t_2)$ , а взаимная –  $R_{xy}(t_1, t_2)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $R_{xy}(t_1, t_2) - \frac{R_x(t_1, t_2)}{R_y(t_1, t_2)}$ ;     | 3) $\frac{R_x(t_1, t_2) \cdot R_y(t_1, t_2)}{R_{xy}(t_1, t_2)}$ ; |
| 2) $\frac{R_{xy}(t_1, t_2)}{R_x(t_1, t_2) \cdot R_y(t_1, t_2)}$ ; | 4) $\frac{R_{xy}(t_1, t_2)}{\sqrt{D_x(t_1) D_y(t_2)}}$ .          |

## 13.2. Анализ линейных систем при случайных воздействиях

**13.2.1.** На входе линейной системы с передаточной функцией  $W(s)$  действует стационарный случайный сигнал  $x(t)$  с известной спектральной плотностью  $S_x(\omega)$ . Каким выражением определяется спектральная плотность  $S_y(\omega)$  выходного сигнала  $y(t)$  системы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $S_y(\omega) = |W(j\omega)| \cdot S_x(\omega)$ ;      3)  $S_y(\omega) = |W(j\omega)|^2 \cdot S_x(\omega)$ ;  
2)  $S_y(\omega) = W(j\omega) \cdot S_x(\omega)$ ;      4)  $S_y(\omega) = \operatorname{Re} W(j\omega) \cdot S_x(\omega)$ .

**13.2.2.** На входе идеального дифференцирующего звена с передаточной функцией  $W(s) = s$  действует случайный сигнал  $x(t)$  со спектральной плотностью  $S_x(\omega)$ . Определите спектральную плотность  $S_y(\omega)$  выходного сигнала  $y(t)$  звена.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $S_y(\omega) = S_x(\omega) \cdot \omega$ ;      4)  $S_y(\omega) = S_x(\omega) \cdot \omega^2$ ;  
2)  $S_y(\omega) = S_x(\omega) \cdot \frac{1}{\omega^2}$ ;      5)  $S_y(\omega) = S_x(\omega) \cdot (j\omega)$ .  
3)  $S_y(\omega) = S_x(\omega) \cdot (1 + \omega^2)$ ;

**13.2.3.** На входе идеального интегрирующего звена с передаточной функцией  $W(s) = \frac{1}{s}$  действует случайный сигнал  $x(t)$  со спектральной плотностью  $S_x(\omega)$ . Определите спектральную плотность  $S_y(\omega)$  выходного сигнала  $y(t)$  звена.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $S_y(\omega) = \frac{1}{s} S_x(\omega)$ ;      3)  $S_y(\omega) = \frac{S_x(\omega)}{j\omega}$ ;      5)  $S_y(\omega) = \frac{S_x(\omega)}{\omega^2}$ .  
2)  $S_y(\omega) = \frac{1}{\omega} S_x(\omega)$ ;      4)  $S_y(\omega) = S_x(\omega) \cdot \omega^2$ ;



- 13.2.4.** Определите спектральную плотность  $S_y(\omega)$  выходного сигнала  $y(t)$  приведенного на рис. 13.9 звена при условии, что  $S_x(\omega) = \frac{1}{1+\omega^2}$ .

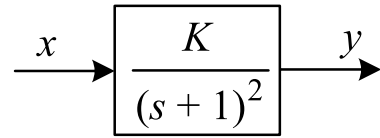


Рис. 13.9

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{K}{\sqrt{1+\omega^2}}$ ;                      3)  $\frac{1}{(1+\omega^2)^2}$ ;                      5)  $\frac{K^2}{(1+\omega^2)^2}$ .
- 2)  $\frac{K}{1+\omega^2}$ ;                              4)  $K\sqrt{1+\omega^2}$ ;

- 13.2.5.** Определите спектральную плотность  $S_x(\omega)$  сигнала  $x(t)$  в системе с приведенной на рис. 13.10 операторно-структурной схемой при условии, что спектральная плотность входного сигнала есть  $S_g(\omega)$ .

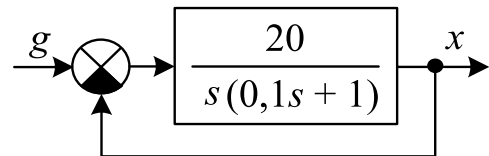


Рис.13.10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{20}{s(0,1s+1)} S_g(\omega)$ ;
- 2)  $\left| \frac{20}{20+j\omega(1+j0,1\omega)} \right|^2 S_g(\omega)$ ;
- 3)  $\left| \frac{20}{j\omega(1+j0,1\omega)} \right|^2 S_g(\omega)$ ;
- 4)  $\left| \frac{20}{20+j\omega(1+j0,1\omega)} \right| S_g(\omega)$ ;
- 5)  $\left| \frac{j\omega(1+j0,1\omega)}{20+j\omega(1+j0,1\omega)} \right|^2 S_g(\omega)$ .

**13.2.6.** Определите спектральную плотность  $S_\varepsilon(\omega)$  ошибки САР, операторно-структурная схема которой приведена на рис. 13.11.

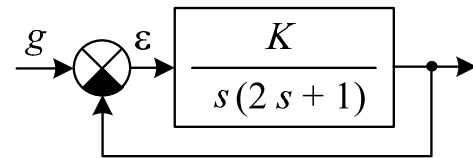


Рис. 13.11

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\left| \frac{jK 2\omega(1+j2\omega)}{j\omega(1+j2\omega)+K} \right|^2 S_g(\omega)$ ;    3)  $\frac{K^2}{|j\omega(1+j2\omega)|^2} S_g(\omega)$ ;  
 2)  $\left| \frac{j\omega(1+j2\omega)}{j\omega(1+j2\omega)} \right|^2 S_g^2(\omega)$ ;    4) правильный ответ отсутствует.

**13.2.7.** Найдите спектральную плотность  $S_\varepsilon(\omega)$  ошибки системы автоматического регулирования, операторно-структурная схема которой приведена на рис. 13.12.

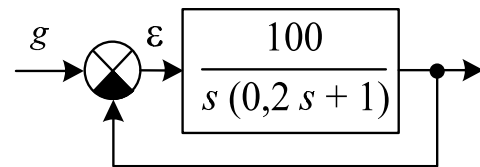


Рис. 13.12

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\left| \frac{20}{(1+j\omega)(1+j(0,1\omega))} \right| S_g(\omega)$ ;  
 2)  $\left| \frac{1}{(1+j\omega)(1+j0,1\omega)} \right| S_g(\omega)$ ;  
 3)  $\left| \frac{(1+j\omega)(1+j0,1\omega)}{20+(1+j\omega)(1+j0,1\omega)} \right|^2 S_g(\omega)$ ;  
 4)  $\left| \frac{1}{20+(1+j\omega)(1+j0,1\omega)} \right|^2 S_g(\omega)$ ;  
 5)  $\frac{1}{20} S_g(\omega)$ .

**13.2.8.** По заданной спектральной плотности  $S_g(\omega)$  сигнала  $g(t)$  найдите спектральную плотность ошибки  $S_\varepsilon(\omega)$  у САР с приведенной на рис. 13.13 операторно-структурной схемой.

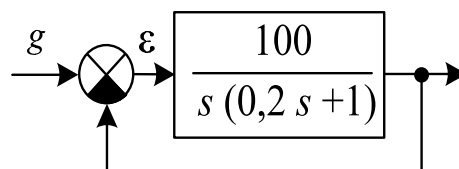


Рис. 13.13

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\left| \frac{j\omega(1+j0,2\omega)}{100+j\omega(1+j0,2\omega)} \right|^2 S_g(\omega)$ ; 4)  $\frac{100}{j\omega(1+j0,2\omega)} S_g(\omega)$ ;  
 2)  $\left| \frac{1}{100+j\omega(1+j0,2\omega)} \right|^2 S_g(\omega)$ ; 5)  $\left| \frac{100}{j\omega(1+j0,2\omega)} \right|^2 S_g(\omega)$ .  
 3)  $\left| \frac{100}{j\omega(1+j0,2\omega)} \right| S_g(\omega)$ ;

**13.2.9.** Определите спектральную плотность  $S_\varepsilon(\omega)$  ошибки системы (рис. 13.14) по известным спектральным плотностям  $S_g(\omega)$  и  $S_f(\omega)$  при условии отсутствия корреляции между сигналами  $g(t)$  и помехой  $f(t)$ .

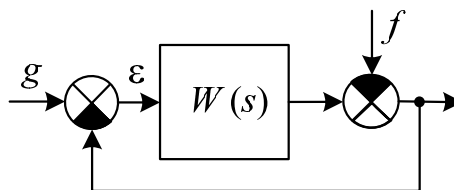


Рис. 13.14

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{1}{|1+W(j\omega)|^2} [S_g(\omega) + S_f(\omega)]$ ;  
 2)  $\frac{1}{|1+W(j\omega)|^2} [S_g(\omega) - S_f(\omega)]$ ;  
 3)  $\frac{S_g(\omega) + S_f(\omega)}{|1+W(j\omega)|}$ ;  
 4)  $\frac{|W(j\omega)|^2}{|1+W(j\omega)|^2} S_g(\omega) + \frac{1}{|1+W(j\omega)|^2} S_f(\omega)$ .

**13.2.10.** Найдите спектральную плотность  $S_x(\omega)$  сигнала  $x(t)$  в САР, операторно-структурная схема которой приведена на рис. 13.15.

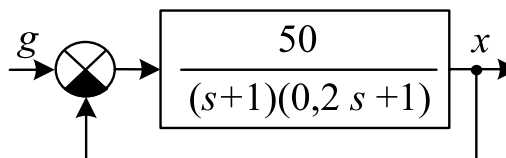


Рис. 13.15

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\left| \frac{50}{(1+j\omega)(1+j0,2\omega)} \right| S_g(\omega);$
- 2)  $\left| \frac{1}{50+(1+j\omega)(1+j0,2\omega)} \right|^2 S_g(\omega);$
- 3)  $\left| \frac{50}{(1+j\omega)(1+j0,2\omega)} \right|^2 S_g(\omega);$
- 4)  $\left| \frac{50}{50+(1+j\omega)(1+j0,2\omega)} \right|^2 S_g(\omega);$
- 5)  $50 S_g(\omega).$

**13.2.11.** Определите взаимную спектральную плотность  $S_{yx}(\omega)$  сигналов  $y(t)$  и  $x(t)$  в системе, представленной на рис. 13.16.

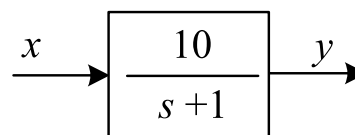


Рис. 13.16

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $10 S_x(\omega);$
- 2)  $\left| \frac{10}{1+j\omega} \right| S_x(\omega);$
- 3)  $\frac{10}{1+j\omega} S_x(\omega);$
- 4)  $\frac{10}{1+s} S_x(\omega);$
- 5)  $\left| \frac{10}{1+j\omega} \right|^2 S_x(\omega).$

**13.2.12.** Определите взаимную спектральную плотность для системы (рис. 13.17) между её ошибкой  $\varepsilon(t) = g(t) - x(t)$  и входным сигналом  $g(t)$ , имеющим спектральную плотность  $S_g(\omega)$ .

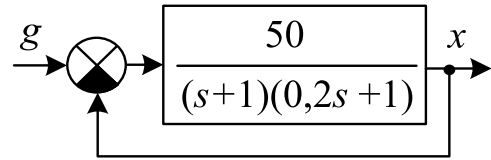


Рис. 13.17

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |  |
|---|--|
| 1) $\frac{50}{1+j\omega(1+j\omega)} \cdot S_g(\omega)$ ;                  | 3) $\left  \frac{j\omega(j\omega+1)}{j\omega(j\omega+1)+50} \right  \cdot S_g(\omega)$ ;   |
| 2) $\frac{j\omega(j\omega+1)}{50+j\omega(j\omega+1)} \cdot S_g(\omega)$ ; | 4) $\left  \frac{j\omega(j\omega+1)}{j\omega(j\omega+1)+50} \right ^2 \cdot S_g(\omega)$ . |

**13.2.13.** Известны спектральная плотность  $S_x(\omega)$  сигнала  $x(t)$  и взаимная спектральная плотность  $S_{yx}(\omega)$  сигналов  $y(t)$  и  $x(t)$  в системе (рис. 13.18). Определите амплитудно-фазовую частотную характеристику системы.

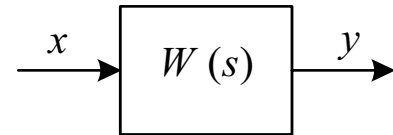


Рис. 13.18

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |                 |
|---|---|-----------------|
| 1) $\frac{S_{yx}(\omega)}{S_x(\omega)}$ ; | 3) $S_x(\omega) \cdot S_{yx}(\omega)$ ; | 5) мало данных. |
| 2) $\frac{S_x(\omega)}{S_{yx}(\omega)}$ ; | 4) $S_{yx}(\omega) - S_x(\omega)$ ;     |                 |

**13.2.14.** Какая из характеристик  $R_{yx}(\tau)$ ,  $R_y(\tau)$  или  $S_y(\omega)$  совпадает с весовой функцией системы (рис. 13.19) при подаче на ее вход сигнала  $x(t)$  типа «белый шум»?

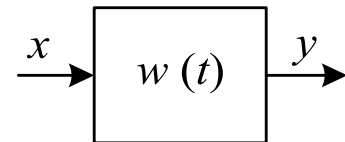


Рис. 13.19

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| 1) $S_y(\omega)$ ;  | 4) $R_{yx}(\tau)$ ;          |
| 2) $R_{xy}(\tau)$ ; | 5) ни одна из перечисленных. |
| 3) $R_y(\tau)$ ;    |                              |

**13.2.15.** Определите математическое ожидание ошибки  $\varepsilon(t)$  в системе (рис. 13.20), если математическое ожидание его входного сигнала равно  $m_g(t)$ .

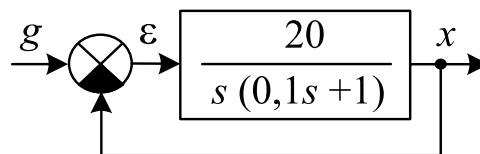


Рис. 13.20

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1) $m_g(t)$ ;                      | 4) $\frac{p(0,1p+1)}{20+p(0,1p+1)} m_g(t)$ ; |
| 2) $\frac{20}{p(0,1p+1)} m_g(t)$ ; | 5) $\frac{20}{20+p(0,1p+1)} m_g(t)$ .        |
| 3) 0;                              | Здесь $p = \frac{d}{dt}$ .                   |

**13.2.16.** Определите математическое ожидание ошибки системы, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 13.21.

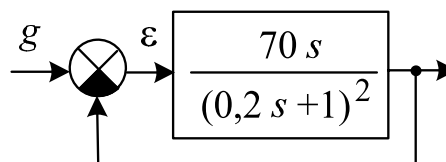


Рис. 13.21

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |   |
|--|---|
| 1) $\frac{70p}{70p+(0,2p+1)^2} m_g(t)$ ; | 4) $\frac{(0,2p+1)^2}{70p+(0,2p+1)^2} m_g(t)$ ; |
| 2) $\frac{70p}{(0,2p+1)^2} m_g(t)$ ;     | 5) $70 m_g(t)$ . Здесь $p = \frac{d}{dt}$ .     |
| 3) 0;                                    |   |

**13.2.17.** Определите установившейся ошибки  $\varepsilon(t)$  системы (рис. 13.22), если  $m_g(t) = 2$ .

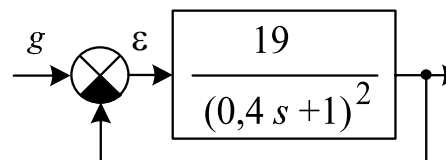


Рис. 13.22

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |        |       |         |         |       |
|--------|-------|---------|---------|-------|
| 1) 38; | 2) 0; | 3) 1,9; | 4) 0,1; | 5) 1. |
|--------|-------|---------|---------|-------|

**13.2.18.** Определите математическое ожидание ошибки  $\varepsilon$  в системе, операторно-структурная схема которой представлена на рис. 13.23, если  $m_g = 2$ .

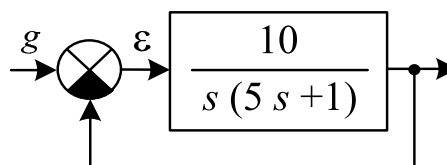


Рис. 13.23

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $m_\varepsilon(t) = \frac{2p(1+5p)}{10+p(1+5p)}$  ;

4)  $m_\varepsilon(t) = 20$ ;

2)  $m_\varepsilon(t) = 0$ ;

5)  $m_\varepsilon(t) = \frac{20}{p(5p+1)}$ .

3)  $m_\varepsilon(t) = 0,5$ ;

Здесь  $p = \frac{d}{dt}$ .

**13.2.19.** Определите математическое ожидание установившейся ошибки в системе, приведенной в задаче 13.2.17, при заданной автокорреляционной функции стационарного входного сигнала (рис. 13.24).

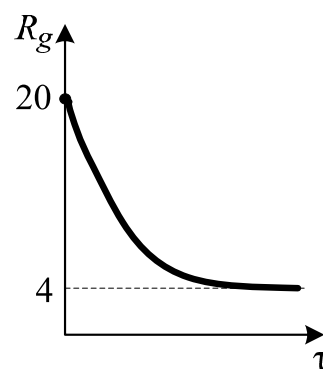


Рис. 13.24

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) 0;

4) 1;

2) 0,1;

5) мало данных.

3) 0,2;

**13.2.20.** Определите установившееся значение математического ожидания сигнала  $y(t)$  у системы (рис. 13.25), если автокорреляционная функция её входного сигнала

$$R_x(\tau) = 3 \cdot e^{-|\tau|}.$$

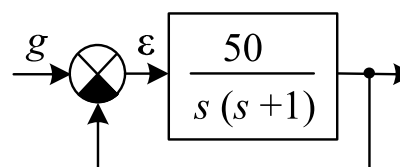


Рис. 13.25

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) 3;    2) 15;    3) 0;

4) 150;

5) мало данных.

- 13.2.21.** Определите установившееся значение математического ожидания выходного сигнала  $y(t)$  системы (рис. 13.26), если на её входе с момента  $t_0$  действует стационарный случайный сигнал с математическим ожиданием  $m_x = \text{const}$ .

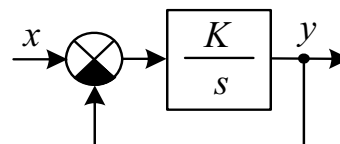


Рис. 13.26

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| 1) $m_x$ ;                                  | 4) $m_x \cdot K t$ ;           |
| 2) $m_x e^{-K t_0}$ ;                       | 5) $m_x \cdot e^{-K(t-t_0)}$ . |
| 3) $m_x \left[ 1 - e^{-K(t-t_0)} \right]$ ; | Здесь $t \geq t_0$ .           |

- 13.2.22.** Определите дисперсию сигнала  $y(t)$  системы с передаточной функцией  $W_{yx}(s) = \frac{20}{(s+1)^2}$ , если дисперсия стационарного входного воздействия  $x(t)$  равна 3.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| 1) 60;           | 4) $\sqrt{1200}$ ; |
| 2) 1200;         | 5) мало данных.    |
| 3) $\sqrt{60}$ ; |                    |

- 13.2.23.** Определите дисперсию сигнала  $y(t)$  системы с передаточной функцией  $W(s) = \frac{1}{s+1}$ , если на её входе действует стационарный случайный сигнал с нулевым математическим ожиданием и автокорреляционной функцией  $R(\tau) = a^2 \cdot \delta(\tau)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |            |           |             |             |              |
|------------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| 1) $a/2$ ; | 2) $2a$ ; | 3) $2a^2$ ; | 4) $4a^2$ ; | 5) $a^2/2$ . |
|------------|-----------|-------------|-------------|--------------|



**13.2.24.** Определите дисперсию выходного сигнала системы (рис. 13.27), если на вход поступает стационарный сигнал типа «белый шум» со спектральной плотностью

$$S_x(\omega) = a^2.$$

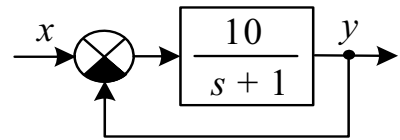


Рис. 13.27

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $10 a^2$ ;

4)  $\frac{100}{11} a^2$ ;

2)  $\frac{10}{11} a^2$ ;

5)  $\frac{1}{11} a^2$ .

3)  $\frac{50}{11} a^2$ ;

Для справки:  $\int \frac{dx}{x^2 + a^2} = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{x}{a}$ .

**13.2.25.** Определите дисперсию ошибки системы, представленной на рис. 13.28, при спектральной плотности входного сигнала  $S_x(\omega) = \frac{5}{1 + \omega^2}$ .

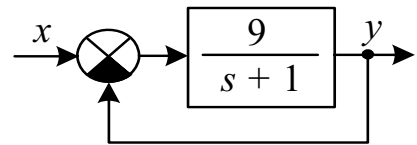


Рис. 13.28

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) 0,25;

2) 0,05;

3) 0,5;

4) 0,2;

5) 0,45.

**13.2.26.** Определите дисперсию ошибки  $\varepsilon(t)$  системы с приведенной на рис. 13.29 операторно-структурной схемой, если автокорреляционная функция входного сигнала

$$R_x(\tau) = 3 \cdot \delta(\tau).$$

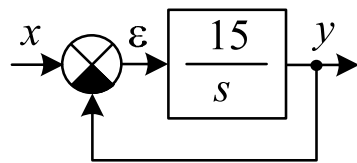


Рис. 13.29

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) 0;

4)  $\infty$ ;

2) 0,1;

5) мало данных.

3) 0,2;

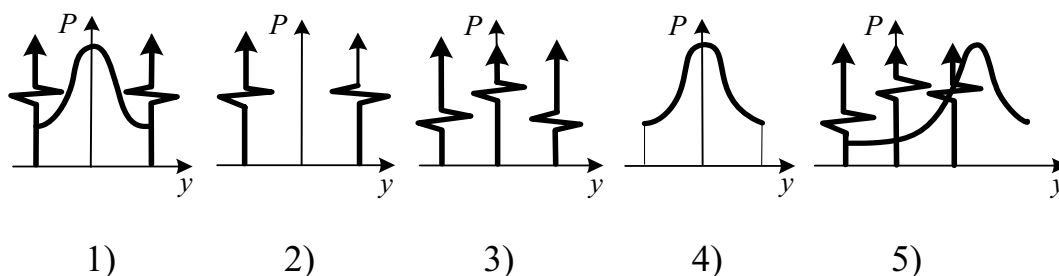
### 13.3. Анализ нелинейных систем при случайных воздействиях

13.3.1. Сигнал  $x(t)$  с нормальным распределением

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right)$$

проходит через нелинейное звено типа «насыщение». Какой вид имеет график функции плотности вероятности  $p(y)$  выходного сигнала  $y(t)$  нелинейного звена?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



13.3.2. На входе нелинейного звена с вход-выходной характеристикой  $y(x)$  действует случайный сигнал  $x(t)$  с плотностью распределения  $p(x)$ . Каким выражением определяется математическое ожидание  $m_y$  сигнала  $y(t)$  на выходе звена?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $m_y = y(x) \cdot p(x);$

4)  $m_y = m_x \cdot y(x);$

2)  $m_y = p(x) \int_{-\infty}^{\infty} y(x) dx;$

5)  $m_y = \int_{-\infty}^{\infty} y(x) \cdot p(x) dx.$

3)  $m_y = y(x) \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot p(x) dx;$

**13.3.3.** Безынерционное нелинейное звено имеет монотонно возрастающую характеристику  $y(x)$ . На вход звена подается случайный сигнал  $x(t)$ , характеризуемый в любой момент времени  $t_i$  плотностью распределения  $p_i(x)$ . Каким выражением определяется плотность распределения  $p_i(y)$  сигнала  $y(t)$  на выходе звена в тот же момент времени?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1) $p_i(y) = y(x) \cdot p_i(x);$  | 4) $p_i(y) = \frac{dx}{dy} \cdot p_i(x);$                   |
| 2) $p_i(y) = p_i(x);$             | 5) $p_i(y) = p_i(x) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} x(y) dy.$ |
| 3) $p_i(y) = \int_0^y p_i(x) dx;$ |   |

**13.3.4.** Случайный сигнал  $x(t)$ , характеризуемый в момент времени  $t_i$  плотностью распределения  $p_i(x)$ , проходит через нелинейное звено с характеристикой  $y = x^3$ . Каким выражением определяется плотность распределения  $p_i(y)$  сигнала  $y(t)$  на выходе звена в тот же момент времени?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $p_i(y) = 3y \cdot p_i(x);$                        | 4) $p_i(y) = \sqrt[3]{p_i(x)};$         |
| 2) $p_i(y) = \frac{1}{3} \sqrt[3]{y^2} \cdot p_i(x);$ | 5) $p_i(y) = \sqrt[3]{y} \cdot p_i(x).$ |
| 3) $p_i(y) = [p_i(x)]^3;$                             |   |

**13.3.5.** Случайный сигнал  $x(t)$ , характеризуемый в момент времени  $t_i$  плотностью распределения  $p_i(x)$ , проходит через нелинейное звено с характеристикой  $y = \frac{1}{32} x^5$ . Каким выражением определяется плотность распределения  $p_i(y)$  сигнала  $y(t)$  на выходе звена в тот же момент времени  $t_i$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $p_i(y) = \frac{1}{32} [p_i(x)]^5$ ;                      4)  $p_i(y) = 0$ ;
- 2)  $p_i(y) = \frac{5}{32} y \cdot p_i(x)$ ;                      5)  $p_i(y) = 2 y^{0,2} \cdot p_i(x)$ .
- 3)  $p_i(y) = 0,4 y^{-0,8} \cdot p_i(x)$ ;

**13.3.6.** На входе нелинейного звена с характеристикой  $y(x)$  действует случайный сигнал  $x(t)$  с плотностью распределения  $p(x)$ . Каким выражением определяется момент второго порядка  $M[y^2(t)]$  сигнала  $y(t)$  на выходе звена?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $M[y^2(t)] = y^2(x) \cdot p(x)$ ;
- 2)  $M[y^2(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} y^2(x) \cdot p(x) dx$ ;
- 3)  $M[y^2(t)] = p(x) \int_{-\infty}^{\infty} y^2(x) dx$ ;
- 4)  $M[y^2(t)] = [m_x]^2 \cdot y(x)$ ;
- 5)  $M[y^2(t)] = y^2(x) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx$ .

**13.3.7.** На входе нелинейного звена с характеристикой  $y(x)$  действует случайный сигнал  $x(t)$  с математическим ожиданием  $m_x$  и центрированной составляющей  $x^0(t)$ . Какой вид имеет уравнение статистической линейаризации звена относительно выходного сигнала  $y(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1) $y = k_0 m_x$ ;                 | 4) $y = m_x + k_1 x^0(t)$ ;          |
| 2) $y = k_0 + k_1 \frac{dx}{dt}$ ; | 5) $y = k_0 x + k_1 \frac{dx}{dt}$ . |
| 3) $y = k_0 m_x + k_1 x^0(t)$ ;    |                                      |

**13.3.8.** Какие условия эквивалентности используются при статистической линейаризации нелинейности  $y = f(x)$ , т.е. замене её статистической моделью  $z = \varphi(x)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $f(x) = \varphi(x)$ ;
- 2) равенство математических ожиданий сигналов  $y$  и  $z$ ;
- 3) равенство корреляционных функций сигналов  $y$  и  $z$ ;
- 4) равенство математических ожиданий и дисперсий сигналов  $y$  и  $z$  или минимум математического ожидания  $(y - z)^2$ .

**13.3.9.** Определите коэффициент статистической линейаризации нелинейности  $y = f(x)$ , если математическое ожидание входного сигнала нелинейности  $m_x$ , а его плотность вероятности  $w(x)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $\frac{1}{m_x} \int_0^{\infty} f(x) \cdot w(x) dx$ ; | 3) $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot w(x) dx$ ;               |
| 2) $\int_0^{\infty} f(x) \cdot w(x) dx$ ;               | 4) $\frac{1}{m_x} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot w(x) dx$ . |

**13.3.10.** Чему равен коэффициент передачи по случайной составляющей  $y$  статистически линеаризованной модели нелинейности  $y = f(x)$ , если сигнал  $x(t)$  имеет математическое ожидание  $m_x$ , дисперсию  $D_x$ , при этом дисперсия сигнала  $y$  равна  $D_y$ , а взаимная корреляционная функция сигналов  $y$  и  $x$  есть  $R_{yx}(\tau)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{R_{yx}(0) - m_x^2}{D_x}$  или  $\pm \sqrt{\frac{D_y}{D_x}}$ ;      4)  $\frac{D_x}{D_y}$ ;  
 2)  $\frac{D_y}{D_x}$ ;      5)  $\frac{R_{yx}(\tau)}{D_x}$ .  
 3)  $\pm \sqrt{\frac{D_y}{D_x}}$  или  $\frac{R_{yx}(0)}{D_x}$ ;

**13.3.11.** Используя метод статистической линеаризации нелинейности, определите среднеквадратическое отклонение для сигнала  $x(t)$  в системе (рис. 13.30), при условии, что математическое ожидание сигнала  $g(t)$  равно нулю, а его спектральная плотность

$$S_g(\omega) = \frac{1}{1 + \omega^2}.$$

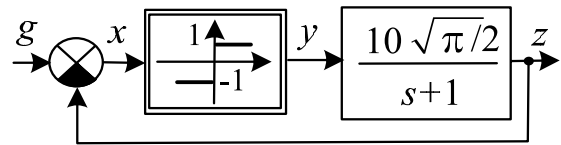


Рис. 13. 30

Коэффициент статистической линеаризации нелинейного элемента системы по случайной составляющей равен

$$\frac{1}{\sigma_x} \sqrt{2/\pi}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0; 2)  $\frac{\sqrt{102} - 10}{4}$ ; 3) 1/11; 4) 1/4; 5) мало данных.

### 13.4. Синтез систем автоматического управления при случайных воздействиях

**13.4.1.** Определите передаточную функцию фильтра  $W_\Phi(s)$ , преобразующего сигнал типа «белый шум», имеющего спектральную плотность  $S_1(\omega) = 1$ , в сигнал, спектральная плотность которого

$$S_2(\omega) = \frac{4\sigma^2}{\alpha^2 + \omega^2}.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)  $W_\Phi(s) = \frac{2\sigma}{\alpha(1+s)}$ ;

3)  $W_\Phi(s) = \frac{4\sigma^2}{(\alpha+s)^2}$ ;

2)  $W_\Phi(s) = \frac{4\sigma^2}{(\alpha^2 + s^2)}$ ;

4)  $W_\Phi(s) = \frac{2\sigma}{\alpha+s}$ .

**13.4.2.** Определите постоянную времени  $T$  системы (рис. 13.31) из условия минимума дисперсии выходного сигнала, если на входе действует стационарный сигнал типа «белый шум» со спектральной плотностью  $S_x(\omega) = N$ .

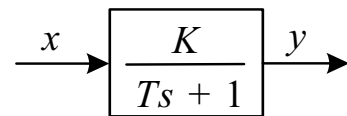


Рис. 13.31

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2) 0,1 с;      3) 1 с;      4) ∞;      5) мало данных.

**13.4.3.** На входе системы (рис. 13.32) действует полезный сигнал  $g(t)$  и помеха  $f(t)$  типа «белый шум». При каком значении  $K$  достигается минимум составляющей среднего квадрата ошибки системы, определяемой этой помехой?

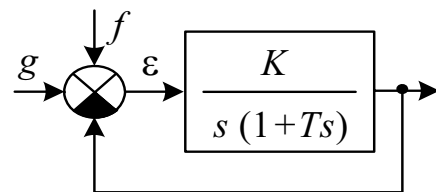


Рис. 13.32

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2)  $\frac{1}{T}$ ;      3)  $\frac{1}{T^2}$ ;      4) ∞;      5) мало данных.

**13.4.4.** В следящей системе (рис. 13.33) на входе действует полезный сигнал  $g(t) = a + bt$  и помеха  $f(t)$  типа «белый шум» со спектральной плотностью, равной  $N$ . Определите статический коэффициент передачи  $K$  системы из условия минимума среднеквадратической ошибки этой системы.

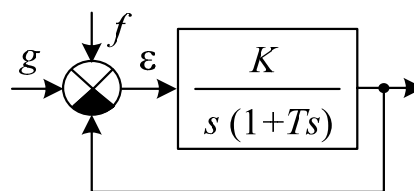


Рис. 13.33

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sqrt{\frac{4b^2}{N}}$ ;      2)  $\frac{2b}{N}$ ;      3)  $\frac{4b^2}{N}$ ;      4)  $\sqrt[3]{\frac{4b^2}{N}}$ .

**13.4.5.** Определите значение параметра  $\tau$  корректирующего звена системы (рис. 13.34) из условия минимума среднеквадратической ошибки  $\sigma_\varepsilon$ , если спектральная плотность помехи  $S_f(\omega) = N = \text{const}$ , а полезный сигнал  $g(t) = at + bt^2/2$ .

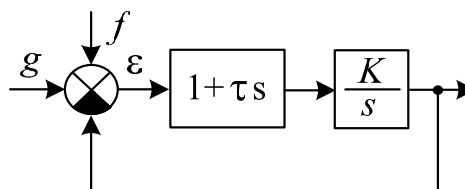


Рис. 13.34

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $K/1+K$ ;      2)  $K$ ;      3)  $\sqrt{K}$ ;      4)  $\sqrt{K-1}$ ;      5)  $1/\sqrt{K}$ .

**13.4.6.** Определите параметр  $\tau$  для системы (рис. 13.35) из условия минимума среднеквадратической ошибки  $\varepsilon(t)$  при условии, что помеха  $f(t)$  – это «белый шум» со спектральной плотностью  $S_f(\omega) = 0,2 \text{ град}^2/\text{Гц}$ , полезный сигнал  $g(t) = at + bt^2/2$ , причем  $a = 50 \text{ град/с}$ ;  $b = 6 \text{ град/с}^2$ ;  $K = 100 \text{ 1/с}^2$ .

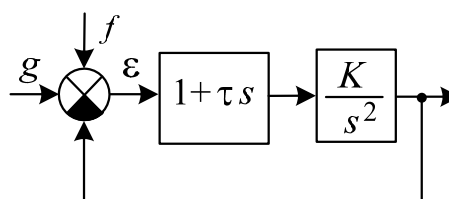


Рис. 13.35

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0;      2) 0,1 с;      3) 0,2 с;      4) 0,7 с;      5) 1,0 с.



**13.4.7.** На входе синтезируемой системы действуют стационарные случайные сигналы: полезный  $g(t)$  и помеха  $f(t)$ . Изображение по Лапласу желаемого выхода  $y(t)$  системы  $L\{y(t)\} = H(s) \cdot L\{g(t)\}$ . Минимизацией какого функционала добиваются минимума ошибки в системе, синтезируя ее весовую функцию  $w(t)$  на основе теории оптимальной фильтрации Норберта Винера?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 
$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \left[ \int_0^{\infty} f(t-\tau) w(\tau) d\tau \right]^2 dt;$$
- 2) 
$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \left[ y(t) - \int_0^{\infty} g(t-\tau) w(\tau) d\tau \right]^2 dt;$$
- 3) 
$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \left\{ y(t) - \int_0^{\infty} [g(t-\tau) + f(t-\tau)] w(\tau) d\tau \right\}^2 dt;$$
- 4) 
$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \left[ y(t) - \int_0^{\infty} f(t-\tau) w(\tau) d\tau \right]^2 dt.$$

**13.4.8.** Определите уравнение Винера-Хопфа для задачи синтеза оптимальной весовой функции  $w(t)$  системы (рис. 13.36), если сигналы  $g(t), f(t)$  стационарны и требуется, чтобы  $L\{y(t)\} = H(s) \cdot L\{g(t)\}$ .

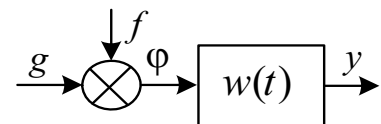


Рис. 13.36

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 
$$R_{hg}(\tau) - \int_{-\infty}^{\infty} R_g(\tau-\lambda) w(\lambda) d\lambda = 0;$$
- 2) 
$$R_{h\varphi}(\tau) - \int_0^{\infty} R_{\varphi}(\tau-\lambda) w(\lambda) d\lambda = 0;$$
- 3) 
$$R_{\varphi}(\tau) - \int_{-\infty}^{\infty} R_{\varphi}(\tau+\lambda) w(\lambda) d\lambda = 0.$$

**13.4.9.** Определите амплитудно-фазовую частотную характеристику  $W_{\text{opt}}(j\omega)$  системы (рис. 13.37), оптимальной по минимуму её среднеквадратической ошибки, если полезный сигнал  $g(t)$  и помеха  $f(t)$  – стационарные случайные сигналы со спектральными плотностями, соответственно,  $S_g(\omega)$  и  $S_f(\omega)$ , а оператор заданного преобразования сигнала  $g(t)$  есть  $W_{\text{ЭТ}}(s)$ .

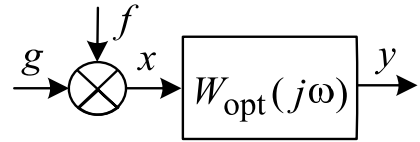


Рис. 13.37

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $\frac{W_{\text{ЭТ}}(j\omega)S_{xg}(\omega)}{S_x(\omega)}$ ; | 3) $\frac{W_{\text{ЭТ}}(j\omega)S_x(\omega)}{S_{xg}(\omega)}$ ; |
| 2) $\frac{W_{\text{ЭТ}}(j\omega)S_{yg}(\omega)}{S_x(\omega)}$ ; | 4) $ W_{\text{ЭТ}}(j\omega) ^2 \cdot S_g(\omega)$ .             |

**13.4.10.** Решите задачу 13.4.9 при условии, что

$$W_{\text{ЭТ}}(j\omega) = 1, \quad S_g(\omega) = \frac{1}{1+\omega^2}, \quad S_f(\omega) = 1 \quad \text{и} \quad S_{fg}(\omega) = 0.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |  |  |
|--|--|
| 1) $\frac{1}{(2+\sqrt{2})(1+j\omega)}$ ; | 3) $\frac{1}{(2+\sqrt{2})\left(1+j\frac{\omega}{2}\right)}$ ;        |
| 2) $\frac{1}{1+\omega^2}$ ;              | 4) $\frac{1}{(2+\sqrt{2})\left(1+j\frac{\omega}{\sqrt{2}}\right)}$ . |

## ГЛАВА 14

### ОПТИМАЛЬНЫЕ И АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 14.1. Классификация и методы решения задач оптимального управления

**14.1.1.** В задачах оптимального управления оптимизируемый функционал записывается в одном из следующих видов:

$$\text{а) } J = \int_{t_0}^{t_k} f_0(x, u, t) dt;$$

$$\text{б) } J = \int_{t_0}^{t_k} f_0(x, u, t) dt + g_0[x(t_k), t_k];$$

$$\text{в) } J = g_0[x(t_k), t_k].$$

Как называются соответствующие им задачи оптимального управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) а – задача Больца, б – задача Майера, в – задача Лагранжа;  
2) а – задача Лагранжа, б – задача Больца, в – задача Майера;  
3) а – задача Майера, б – задача Лагранжа, в – задача Больца.

**14.1.2.** В каком виде записывается функционал при оптимизации системы по быстродействию?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) J = \int_{t_0}^{t_k} (\sum_j c_j |u_j|) dt;$$

$$2) J = \int_{t_0}^{t_k} (\sum_j c_j u_j^2) dt;$$

$$3) J = \int_{t_0}^{t_k} dt;$$

$$4) J = \int_{t_0}^{t_k} t \cdot dt;$$

$$5) J = \int_{t_0}^{t_k} (\sum_j c_j x_j^2) dt.$$

**14.1.3.** В каком виде записывается функционал при оптимизации системы по расходу топлива?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) J = \int_{t_0}^{t_k} \left( \sum_j c_j |u_j| \right) dt;$$

$$4) J = \int_{t_0}^{t_k} t \cdot dt;$$

$$2) J = \int_{t_0}^{t_k} \left( \sum_j c_j u_j^2 \right) dt;$$

$$5) J = \int_{t_0}^{t_k} \left( \sum_j c_j x_j^2 \right) dt.$$

$$3) J = \int_{t_0}^{t_k} dt;$$

**14.1.4.** В каком виде записывается функционал при оптимизации системы по быстродействию и расходу топлива?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) J = \int_{t_0}^{t_k} (1 + u) dt;$$

$$4) J = \int_{t_0}^{t_k} (t + k |u|) dt;$$

$$2) J = \int_{t_0}^{t_k} (t + u) dt;$$

$$5) J = \int_{t_0}^{t_k} (1 + k |u|) dt.$$

$$3) J = \int_{t_0}^{t_k} (1 + k u^2) dt;$$

**14.1.5.** Вариационная задача называется изопериметрической, если...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) имеются ограничения в виде равенств

$$\varphi_j(x, u, t) = 0, \quad j = \overline{1, m};$$

2) имеются ограничения в виде неравенств

$$\varphi_j(x, u, t) \leq 0, \quad j = \overline{1, m};$$

3) имеются интегральные ограничения

$$\int_{t_0}^{t_k} \varphi_j(x, u, t) dt = b_j, \quad j = \overline{1, m}.$$

**14.1.6.** Дана задача вариационного исчисления:

$$J[x(t)] = \int_{t_0}^{t_k} f_0[x(t), \dot{x}(t), t] dt \rightarrow \text{extr},$$

$$x(t_0) = x_0, \quad x(t_k) = x_k.$$

Какой вид имеет необходимое условие экстремума для этой задачи?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \frac{\partial f_0}{\partial x} + \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} = 0; \quad 4) \frac{\partial f_0}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} = 0;$$

$$2) \frac{\partial f_0}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} = 0; \quad 5) \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} + \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial x} = 0.$$

$$3) \frac{\partial f_0}{\partial \dot{x}} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f_0}{\partial x} = 0;$$

**14.1.7.** Определите уравнение Эйлера для задачи вариационного исчисления:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} [\dot{x}^2(t) - x^2(t)] dt \rightarrow \max.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \dot{x} + x = 0; \quad 3) \ddot{x} + \dot{x} = 0; \quad 5) \ddot{x} + x = 0.$$

$$2) \ddot{x} - x = 0; \quad 4) \ddot{x} - \dot{x} = 0;$$

**14.1.8.** Определите уравнение Эйлера для задачи вариационного исчисления:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} [x^2(t) - t \cdot \dot{x}^2(t)] dt \rightarrow \max.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) t \cdot \ddot{x} + \dot{x} + x = 0; \quad 3) \ddot{x} + \dot{x} - x = 0; \quad 5) t \cdot \ddot{x} + \dot{x} - x = 0.$$

$$2) \ddot{x} + \dot{x} + x = 0; \quad 4) t \cdot \ddot{x} - \dot{x} + x = 0;$$

**14.1.9.** Дана простейшая вариационная задача:

$$J = \int f_0(x, \dot{x}, t) dt \rightarrow \min, \quad x(t_0) = x_0, \quad x(t_k) = x_k.$$

Какое условие должно выполняться на экстремали  $x^*(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{lll} 1) \frac{\partial^2 f_0}{\partial x \partial \dot{x}} \geq 0; & 3) \frac{\partial^2 f_0}{\partial x \partial \dot{x}} \neq 0; & 5) \frac{\partial^2 f_0}{\partial \dot{x}^2} \geq 0. \\ 2) \frac{\partial^2 f_0}{\partial x \partial \dot{x}} \leq 0; & 4) \frac{\partial^2 f_0}{\partial \dot{x}^2} \leq 0; & \end{array}$$

**14.1.10.** Дана простейшая вариационная задача:

$$J = \int f_0(x, \dot{x}, t) dt \rightarrow \max, \quad x(t_0) = x_0, \quad x(t_k) = x_k.$$

Какое условие должно выполняться на экстремали  $x^*(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{lll} 1) \frac{\partial^2 f_0}{\partial x \partial \dot{x}} \geq 0; & 3) \frac{\partial^2 f_0}{\partial x \partial \dot{x}} \neq 0; & 5) \frac{\partial^2 f_0}{\partial \dot{x}^2} \geq 0. \\ 2) \frac{\partial^2 f_0}{\partial x \partial \dot{x}} \leq 0; & 4) \frac{\partial^2 f_0}{\partial \dot{x}^2} \leq 0; & \end{array}$$

**14.1.11.** Дана задача оптимального управления:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f_0[x(t), u(t), t] dt \rightarrow \min,$$

$$\dot{x}(t) = u(t), \quad x(t_0) = x_0, \quad x(t_k) = x_k, \quad x \in R^n, \quad u \in R^n.$$

Какой вид имеют уравнения Эйлера–Лагранжа?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll} 1) \dot{x}_i = u_i; \quad \dot{\Psi}_i = -\frac{\partial f_0}{\partial x_i}; \quad -\frac{\partial f_0}{\partial u_i} + \Psi_i = 0; \\ 2) \dot{x}_i = u_i; \quad \dot{\Psi}_i = \frac{\partial f_0}{\partial x_i}; \quad -\frac{\partial f_0}{\partial u_i} + \Psi_i = 0; \\ 3) \dot{x}_i = u_i; \quad \dot{\Psi}_i = -\frac{\partial f_0}{\partial x_i}; \quad \frac{\partial f_0}{\partial u_i} + \Psi_i = 0. \end{array}$$

14.1.12. Дана задача оптимального управления:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f_0[x, u, t] dt \rightarrow \text{extr};$$

$$\dot{x}_i(t) = f_i(x, u, t), \quad i = \overline{1, n};$$

$$x(t_0) = x_0, \quad x(t_k) = x_k.$$

Определите уравнения Эйлера–Лагранжа в канонической форме.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)	2)	3)	4)
$\dot{x}_i = \frac{\partial H}{\partial \Psi_i};$	$\dot{x}_i = -\frac{\partial H}{\partial \Psi_i};$	$\dot{x}_i = -\frac{\partial H}{\partial \Psi_i};$	$\dot{x}_i = \frac{\partial H}{\partial \Psi_i};$
$\dot{\Psi}_i = \frac{\partial H}{\partial x_i};$	$\dot{\Psi}_i = -\frac{\partial H}{\partial x_i};$	$\dot{\Psi}_i = \frac{\partial H}{\partial x_i};$	$\dot{\Psi}_i = -\frac{\partial H}{\partial x_i};$
$\frac{\partial H}{\partial u_j} = 0;$	$\frac{\partial H}{\partial u_j} = 0;$	$\frac{\partial H}{\partial u_j} = 0;$	$\frac{\partial H}{\partial u_j} = 0.$

14.1.13. Дана задача оптимального управления:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^2 u^2 dt \rightarrow \min;$$

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t), \quad \dot{x}_2(t) = u(t);$$

$$x_1(0) = x_2(0) = 1, \quad x_1(2) = x_2(2) = 0.$$

Определите уравнения Эйлера–Лагранжа в канонической форме.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)	2)	3)	4)
$\dot{x}_1 = x_2,$	$\dot{x}_1 = x_2,$	$\dot{x}_1 = x_2,$	$\dot{x}_1 = x_2,$
$\dot{x}_2 = u,$	$\dot{x}_2 = u,$	$\dot{x}_2 = u,$	$\dot{x}_2 = u,$
$\dot{\Psi}_1 = -\Psi_1,$	$\dot{\Psi}_1 = 0,$	$\dot{\Psi}_1 = 0,$	$\dot{\Psi}_1 = 0,$
$\dot{\Psi}_2 = -\Psi_2,$	$\dot{\Psi}_2 = -\Psi_1,$	$\dot{\Psi}_2 = -\Psi_1,$	$\dot{\Psi}_2 = -\Psi_2,$
$u = \Psi_2;$	$u = \Psi_2;$	$u = -\Psi_2;$	$u = -\Psi_2.$





14.1.17. Дана задача оптимального управления:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^T (x^2 + u^2) dt \rightarrow \min,$$

$$\dot{x} = -a x + u, \quad x(0) = x_0, \quad x(T) \in R^1.$$

Получите краевую задачу принципа максимума для определения оптимального управления.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1)	2)	3)	4)
$\dot{x} = -a x + \psi,$	$\dot{x} = -a x + \psi,$	$\dot{x} = -a x + \psi,$	$\dot{x} = -a x + \psi,$
$\dot{\psi} = -a \psi + x,$	$\dot{\psi} = a \psi + x,$	$\dot{\psi} = a \psi,$	$\dot{\psi} = -a \psi + x,$
$x(0) = x_0,$	$x(0) = x_0,$	$x(0) = x_0,$	$x(0) = x_0,$
$\psi(T) = 0;$	$\psi(T) = 0;$	$\psi(T) = 0;$	$\psi(T) = -1.$

14.1.18. При помощи принципа максимума решается задача оптимального по быстродействию управления объектом, описываемым уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2; \quad \dot{x}_2 = -a x_2 + k u.$$

Определите функцию Гамильтона.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) $H = \Psi_1(-a x_2 + k u) + \Psi_2 x_2;$	4) $H = \Psi_1 x_2 - \Psi_2 a x_2 + \Psi_3 k u;$
2) $H = \Psi_1(a x_2 - k u) - \Psi_2 x_2;$	5) $H = \Psi_1 x_2 + \Psi_2(-a x_2 + k u).$
3) $H = -\Psi_1 x_2 - \Psi_2(-a x_2 + k u);$	

14.1.19. Задача оптимального по быстродействию управления решается с помощью принципа максимума. Получен гамильтониан

$$H = \Psi_1 x_2 + \Psi_2 x_3 + \Psi_3 u.$$

Какой вид имеет оптимальное управление  $u(t)$ , если  $|u(t)| \leq 1$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) $u(t) = -\Psi_3(t);$	3) $u(t) = -\text{sign} \Psi_3(t);$	5) $u(t) =  \Psi_3(t) .$
2) $u(t) = \Psi_3(t);$	4) $u(t) = \text{sign} \Psi_3(t);$	

**14.1.20.** Решается задача оптимального по быстродействию управления объектом, описываемым уравнениями:

$$\frac{dx_1}{dt} = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_1u;$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + b_2u.$$

Какой вид имеет сопряженная система уравнений относительно переменных  $\Psi_1, \Psi_2$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \frac{d\Psi_1}{dt} = -a_{11}\Psi_1 - a_{21}\Psi_2 - b_1u; \quad 3) \frac{d\Psi_1}{dt} = -a_{11}\Psi_1 - a_{21}\Psi_2,$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = -a_{12}\Psi_1 - a_{22}\Psi_2 - b_2u; \quad \frac{d\Psi_2}{dt} = -a_{12}\Psi_1 - a_{22}\Psi_2;$$

$$2) \frac{d\Psi_1}{dt} = a_{11}\Psi_1 + a_{21}\Psi_2 + b_1u; \quad 4) \frac{d\Psi_1}{dt} = a_{11}\Psi_1 + a_{21}\Psi_2,$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = a_{12}\Psi_1 + a_{22}\Psi_2 + b_2u; \quad \frac{d\Psi_2}{dt} = a_{12}\Psi_1 + a_{22}\Psi_2.$$

**14.1.21.** Каждое из чисел на рис. 14.1 представляет собой «затраты» на прохождение вдоль соответствующего отрезка. Используя метод динамического программирования, определите траекторию перехода из точки  $A$  в точку  $B$ , для которой «затраты» минимальны.

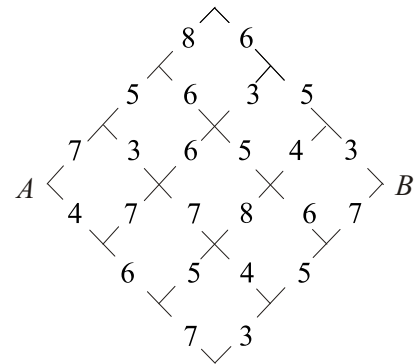
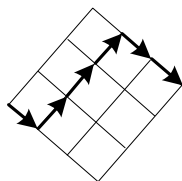
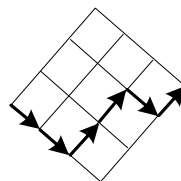


Рис. 14.1

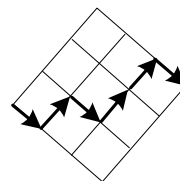
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



1)



2)



3)

ни одна из перечисленных.

4)

**14.1.22.** Каждое из чисел на рис. 14.2 представляет собой «затраты» на прохождение вдоль соответствующего отрезка. Используя метод динамического программирования, определите минимальные «затраты» для перехода из точки А в точку В.

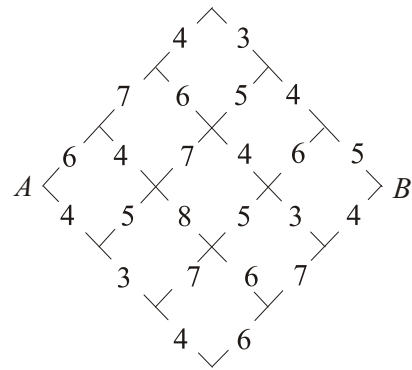


Рис. 14.2

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 30;      2) 23;      3) 29;      4) 20;      5) 26.

**14.1.23.** Система описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_1 u;$$

$$\dot{x}_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + b_2 u.$$

Выполняется ли для нее принцип оптимальности Беллмана?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) выполняется;      3) не выполняется;  
2) выполняется, если  $b_1 \neq b_2$ ;      4) мало данных.

**14.1.24.** Определите уравнение Беллмана для следующей задачи оптимального управления:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f_0(x, u) dt \rightarrow \min ,$$

$$\dot{x}_i(t) = f_i(x, u), \quad i = \overline{1, n},$$

$$x(t_0) = x_0, \quad x(t_k) = x_k, \quad u(t) \in \Omega.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\min_{u \in \Omega} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_i} f_i(x, u) \right\} = -1;$       3)  $\min_{u \in \Omega} \left\{ f_0(x, u) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_i} f_i(x, u) \right\} = -1;$   
2)  $\min_{u \in \Omega} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_i} f_i(x, u) \right\} = 0;$       4)  $\min_{u \in \Omega} \left\{ f_0(x, u) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_i} f_i(x, u) \right\} = 0.$

**14.1.25.** Определите уравнение Беллмана для следующей задачи максимального быстродействия:

$$J = \int_0^T dt \rightarrow \min,$$

$$\dot{x}_i(t) = f_i(x, u), \quad i = \overline{1, n},$$

$$x(0) = x_0, \quad x(T) = x_T, \quad u(t) \in \Omega.$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \min_{u \in \Omega} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_i} f_i(x, u) \right\} = -1; \quad 3) \min_{u \in \Omega} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_i} f_i(x, u) \right\} = 1;$$

$$2) \min_{u \in \Omega} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_i} f_i(x, u) \right\} = 0; \quad 4) \min_{u \in \Omega} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial x_i} f_i(x, u) \right\} = -T.$$

**14.1.26.** Дана задача оптимального управления:

$$J = \int_0^T (x_1^2 + x_2^2 + u^2) dt \rightarrow \min;$$

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t), \quad \dot{x}_2(t) = u(t);$$

$$x_1(0) = x_{10}; \quad x_2(0) = x_{20}, \quad x_1(T) = x_2(T) = 0.$$

Определите функциональное уравнение Беллмана.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$1) \min_u \left\{ -x_1^2 - x_2^2 - u^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_2} u \right\} = 0;$$

$$2) \min_u \left\{ x_1^2 + x_2^2 + u^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_2} u \right\} = 0;$$

$$3) \min_u \left\{ -x_1^2 - x_2^2 - u^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_2} u \right\} = -1;$$

$$4) \min_u \left\{ x_1^2 + x_2^2 + u^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_2} u \right\} = -1.$$

## 14.2. Оптимальные системы автоматического управления

14.2.1. Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = u, \quad |u| \leq U_{\text{макс}}.$$

Сколько интервалов постоянства имеет в общем случае оптимальное по быстродействию управление  $u(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;                    2) 2;                    3) 3;                    4) мало данных.

14.2.2. Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = -ax_1 + k_1 x_2, \quad \dot{x}_2 = -bx_2 + k_2 u, \quad |u| \leq U_{\text{макс}}.$$

Сколько интервалов постоянства имеет в общем случае оптимальное по быстродействию управление  $u(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;                    2) 2;                    3) 3;                    4) мало данных.

14.2.3. Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = -ax_1 + u, \quad |u| \leq U_{\text{макс}}.$$

Сколько интервалов постоянства имеет в общем случае оптимальное по быстродействию управление  $u(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;                    2) 2;                    3) 3;                    4) мало данных.

14.2.4. Объект управления описывается уравнением

$$\frac{d^3 x}{dt^3} + 5 \frac{d^2 x}{dt^2} + 4 \frac{dx}{dt} = ku, \quad |u| \leq U_{\text{макс}}.$$

Сколько интервалов постоянства имеет в общем случае оптимальное по быстродействию управление  $u(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;                    2) 2;                    3) 3;                    4) мало данных.

14.2.5. Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = u,$$

где  $|x_2| \leq x_{2\text{макс}}$  и  $|u| \leq U_{\text{макс}}$ . Сколько интервалов постоянства имеет в общем случае оптимальное по быстродействию управление  $u(t)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) мало данных.

14.2.6. Объект управления, описываемый уравнениями

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = u,$$

где  $|u| \leq 10$ , переводится из состояния  $x_{10} = 2,5; x_{20} = 0$  в состояние  $x_{10} = 0; x_{20} = 0$  за минимальное время. Определите моменты переключения  $t_1, T$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $t_1 = 0,5$  с;                      2)  $t_1 = 0,5/\sqrt{2}$  с;                      3)  $t_1 = 1,0$  с;                      4)  $t_1 = \sqrt{0,5}$  с;  
 $T = 1,0$  с;                       $T = 0,5\sqrt{2}$  с;                       $T = 2,0$  с;                       $T = 2\sqrt{0,5}$  с.

14.2.7. Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2; \quad \dot{x}_2 = u, \text{ где } |u| \leq 1.$$

На рис. 14.3 показаны фазовые траектории:

$$x_2 = +x_1^2/2 + C_1 \text{ при } u = 1;$$

$$x_2 = -x_1^2/2 + C_2 \text{ при } u = -1.$$

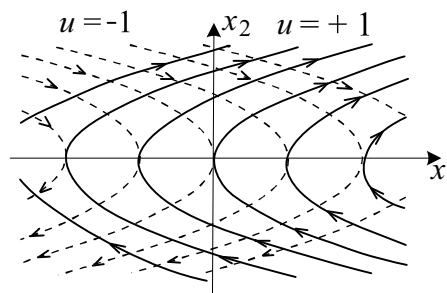


Рис. 14.3

Какой вид имеет уравнение линии переключения, если целью управления является перевод объекта из произвольного начального состояния  $(x_{10}, x_{20})$  в начало координат  $(0, 0)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $x_2 + \frac{x_1^2}{2} \text{sign}x_2 = 0;$                       3)  $x_1^2 + \frac{x_2^2}{2} \text{sign}x_2 = 0;$   
 2)  $x_1 + \frac{x_2^2}{2} \text{sign}x_2 = 0;$                       4)  $x_1 \text{sign}x_2 + x_2 = 0.$

**14.2.8.** Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2; \quad \dot{x}_2 = u, \text{ где } |u| \leq 1.$$

На рис. 14.4 показаны фазовые траектории:

$$x_2 = +x_1^2/2 + C_1 \text{ при } u = 1;$$

$$x_2 = -x_1^2/2 + C_2 \text{ при } u = -1.$$

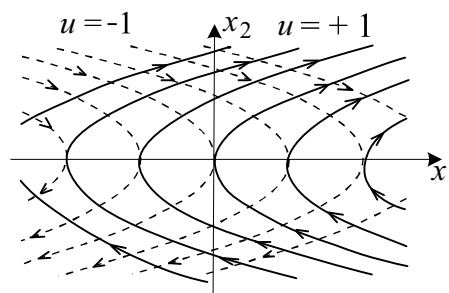


Рис. 14.4

В каком виде записывается закон управления  $u = v(x_1, x_2)$ , обеспечивающий перевод объекта из произвольного начального состояния  $(x_{10}, x_{20})$  в начало координат  $(0, 0)$  за минимальное время?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $u = \text{sign}(x_2 + \frac{x_1^2}{2} \text{sign } x_2)$ ;  | 3) $u = \text{sign}(x_1 + \frac{x_2^2}{2} \text{sign } x_2)$ ;  |
| 2) $u = -\text{sign}(x_2 + \frac{x_1^2}{2} \text{sign } x_2)$ ; | 4) $u = -\text{sign}(x_1 + \frac{x_2^2}{2} \text{sign } x_2)$ . |

**14.2.9.** Объект управления описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = x_2; \quad \dot{x}_2 = u, \text{ где } |u| \leq 1.$$

На рис. 14.5 показана фазовая траектория, соответствующая переходу из начального состояния  $x_0 = (1; 0)$  в конечное состояние  $x_k = (0; 0)$  за минимальное время. Определите время перехода  $T$ .

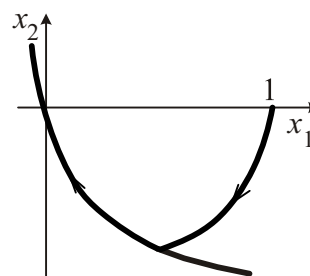


Рис. 14.5

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) 0,5;      2) 1,0;      3) 1,5;      4) 2,0;      5) 2,5 .

**14.2.10.** Как изменится время переходного процесса в системе, оптимизированной по быстродействию, при одних и тех же начальном и конечном состояниях, если на фазовой траектории (рис. 14.6) имеется участок с насыщением  $x_2 = x_{2\text{макс}}$ ?

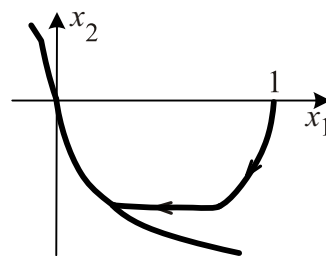


Рис. 14.6

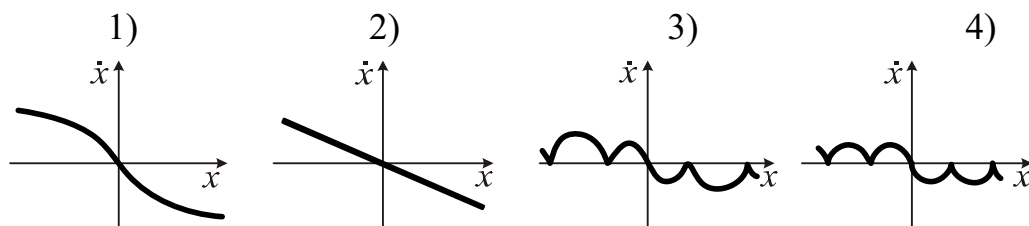
ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| 1) останется без изменения; | 3) увеличится;  |
| 2) уменьшится;              | 4) мало данных. |

**14.2.11.** Какой вид имеет линия переключения при оптимальном по быстродействию управлении объектом, описываемым уравнением

$$\ddot{x} + x = ku?$$

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**14.2.12.** Решается задача аналитического конструирования оптимального регулятора для объекта управления первого порядка:

$$J = \int_0^{\infty} (x^2 + cu^2) dt \rightarrow \min, \quad \dot{x} = -ax + u, \quad a > 0.$$

Определите уравнения Эйлера–Лагранжа.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |                                  |                                  |                                  |                                   |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1)                               | 2)                               | 3)                               | 4)                                |
| $\dot{x} = -ax + u,$             | $\dot{x} = -ax + u,$             | $\dot{x} = -ax + u,$             | $\dot{x} = -ax + u,$              |
| $\dot{\lambda} = 2x + a\lambda,$ | $\dot{\lambda} = 2x - a\lambda,$ | $\dot{\lambda} = 2x + a\lambda,$ | $\dot{\lambda} = -2x - a\lambda,$ |
| $-2cu = \lambda;$                | $-2cu = \lambda;$                | $2cu = \lambda;$                 | $-2cu = \lambda;$                 |



**14.2.13.** Решается задача синтеза оптимального регулятора для объекта управления первого порядка:

$$J = \int_0^{\infty} (x^2 + cu^2) dt \rightarrow \min, \quad \dot{x} = -ax + u, \quad a > 0.$$

Определите систему уравнений для определения функции Беллмана  $S(x)$  и оптимального управления, вытекающие из функционального уравнения Беллмана.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{aligned} 1) \quad & -x^2 - cu^2 + \frac{\partial S}{\partial x}(-ax + u) = 0, \quad -2cu + \frac{\partial S}{\partial x} = 0; \\ 2) \quad & x^2 + cu^2 + \frac{\partial S}{\partial x}(-ax + u) = 0, \quad 2cu + \frac{\partial S}{\partial x} = 0; \\ 3) \quad & x^2 + cu^2 - \frac{\partial S}{\partial x}(-ax + u) = 0, \quad 2cu - \frac{\partial S}{\partial x} = 0. \end{aligned}$$

**14.2.14.** Решается задача синтеза оптимального регулятора для объекта управления первого порядка:

$$J = \int_0^{\infty} (x^2 + cu^2) dt \rightarrow \min, \quad \dot{x} = -ax + u, \quad a > 0.$$

Определите уравнение Риккати.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{aligned} 1) \quad & 2acp - p^2 = -c; & 3) \quad & -2acp - p^2 = -c; \\ 2) \quad & 2acp - p^2 = c; & 4) \quad & -2acp - p^2 = c. \end{aligned}$$

**14.2.15.** Решается задача синтеза оптимального регулятора для объекта управления первого порядка:

$$J = \int_0^{\infty} (x^2 + cu^2) dt \rightarrow \min, \quad \dot{x} = -ax + u, \quad a > 0.$$

Какой вид имеет уравнение оптимального регулятора?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{aligned} 1) \quad & u = [a + \sqrt{a^2 + (1/c)}] x; & 3) \quad & u = [a - \sqrt{a^2 + (1/c)}] x; \\ 2) \quad & u = -[a - \sqrt{a^2 + (1/c)}] x; & 4) \quad & u = -[a + \sqrt{a^2 + (1/c)}] x. \end{aligned}$$

**14.2.16.** Методами классического вариационного исчисления решается задача синтеза оптимального регулятора:

$$J = \int_0^{\infty} (x_1^2 + cu^2) dt \rightarrow \min, \quad \dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = -ax_1 + u.$$

Определите уравнения Эйлера–Лагранжа.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) $\dot{x}_1 = x_2,$ $\dot{x}_2 = -ax_1 + ku,$ $\dot{\lambda}_1 = -2x_1 + a\lambda_2,$ $\dot{\lambda}_2 = \lambda_1,$ $2cu = k\lambda_2;$	2) $\dot{x}_1 = x_2,$ $\dot{x}_2 = -ax_1 + ku,$ $\dot{\lambda}_1 = 2x_1 - a\lambda_2,$ $\dot{\lambda}_2 = -\lambda_1,$ $2cu = k\lambda_2;$	3) $\dot{x}_1 = x_2,$ $\dot{x}_2 = -ax_1 + ku,$ $\dot{\lambda}_1 = 2x_1 + a\lambda_2,$ $\dot{\lambda}_2 = \lambda_1,$ $2cu = k\lambda_2.$
--	--	---

**14.2.17.** Методом динамического программирования решается задача синтеза оптимального регулятора:

$$J = \int_0^{\infty} (x_1^2 + cu^2) dt \rightarrow \min, \quad \dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = -ax_1 + u.$$

Каким выражением определяется связь между оптимальным управлением и функцией Беллмана?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) $u = -\frac{1}{2c} \frac{\partial S}{\partial x_2};$	2) $u = \frac{1}{2c} \frac{\partial S}{\partial x_2};$	3) $u = -\frac{\partial S}{\partial x_2};$	4) $u = \frac{\partial S}{\partial x_2}.$
---	--	--	---

**14.2.18.** Методами классического вариационного исчисления решается задача синтеза оптимального регулятора:

$$J = \int_0^{\infty} (x_1^2 + cu^2) dt \rightarrow \min, \quad \dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = -ax_1 + u.$$

Каким выражением описывается оптимальный закон управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

1) $\dot{u} = -au + k_1x_1 + k_2x_2;$	3) $u = k_1x_1 + k_2x_2;$
2) $\dot{u} = k_1x_1 + k_2x_2;$	4) $u = k_1x_1 + k_2x_2 + k_3x_1x_2.$

**14.2.19.** При решении задачи синтеза оптимального регулятора методом динамического программирования получено уравнение Беллмана в виде

$$\min_u \left\{ x_1^2 + cu^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_2} (-ax_2 + ku) \right\} = 0.$$

Ограничения на управление и переменные состояния отсутствуют. Определите уравнение Беллмана в виде системы двух уравнений.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_2} (-ax_2 + ku) = 0; \quad x_1^2 + cu^2 = 0;$
- 2)  $\frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_2} (-ax_2 + ku) = 0; \quad 2cu + k \frac{\partial S}{\partial x_2} = 0;$
- 3)  $x_1^2 + cu^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 + \frac{\partial S}{\partial x_2} (-ax_2 + ku) = 0; \quad 2cu + k \frac{\partial S}{\partial x_2} = 0;$
- 4)  $x_1^2 + \frac{\partial S}{\partial x_1} x_2 - \frac{\partial S}{\partial x_2} ax_2 = 0; \quad 2cu + k \frac{\partial S}{\partial x_2} = 0.$

**14.2.20.** В каком виде отыскивается функция  $S(x_1, \dots, x_n)$  при решении задачи синтеза оптимального регулятора методом динамического программирования?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\sum_{i=1}^n a_i x_i^2 + \sum_{j=1}^m c_j u_j^2;$
- 2)  $\left( \sum_{i=1}^n a_i x_i^2 \right) \left( \sum_{j=1}^n x_j^2 \right);$
- 3)  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i^2 x_j^2;$
- 4)  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j;$
- 5)  $\sum_{i=1}^n a_i x_i.$

**14.2.21.** При помощи принципа максимума решается задача синтеза оптимального регулятора:

$$J = \int_0^{\infty} (x^2 + cu^2) dt \rightarrow \min, \quad \frac{dx}{dt} = -ax + ku.$$

Определите управление в виде функции сопряженных переменных.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $u = \text{sign}(k/2c) \Psi_1$ ;                      3)  $u = (k/2c) \Psi_1$ ;  
 2)  $u = -\text{sign}(k/2c) \Psi_1$ ;                      4)  $u = -(k/2c) \Psi_1$ .

**14.2.22.** Какой вид имеет уравнение оптимального регулятора для объекта управления  $n$ -го порядка, если

$$J = \int_0^{\infty} \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} x_i x_j + u^2 \right) dt \rightarrow \min$$

и отсутствуют ограничения на координаты  $x_i$  и управление  $u$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\dot{u} = ru + \sum_{i=1}^n k_i x_i$ ,  $r > 0$ ;                      3)  $\dot{u} = \sum_{i=1}^n k_i x_i$ ;  
 2)  $u = \text{sat}\left(\sum_{i=1}^n k_i x_i\right)$ ;                      4)  $u = \sum_{i=1}^n k_i x_i$ .

**14.2.23.** Какой вид имеет уравнение оптимального регулятора для объекта управления  $n$ -го порядка, если

$$J = \int_0^{\infty} \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} x_i x_j + u^2 + \gamma \dot{u}^2 \right) dt \rightarrow \min$$

и отсутствуют ограничения на координаты  $x_i$  и управление  $u$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\dot{u} = ru + \sum_{i=1}^n k_i x_i$ ,  $r > 0$ ;                      3)  $\dot{u} = \sum_{i=1}^n k_i x_i$ ;  
 2)  $u = \text{sat}\left(\sum_{i=1}^n k_i x_i\right)$ ;                      4)  $u = \sum_{i=1}^n k_i x_i$ .

### 14.3. Системы экстремального управления

14.3.1. В каких случаях необходимо применять системы экстремального управления?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) объект имеет стационарную экстремальную статическую характеристику;
- 2) экстремальная статическая характеристика объекта дрейфует во времени по известному закону;
- 3) экстремальная статическая характеристика объекта дрейфует во времени по неизвестному закону;
- 4) во всех перечисленных случаях.

14.3.2. Дан объект экстремального управления:

$$y = y(x) = -x^2; \quad \dot{x} = u.$$

Какой величине должно быть пропорционально управляющее воздействие  $u$ , обеспечивающее движение к максимуму функции  $y(x)$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) пропорционально  $dy/dt$ ;
- 2) пропорционально  $dy/dx$ ;
- 3) пропорционально  $x$ ;
- 4) пропорционально  $y$ .

14.3.3. В каком виде записывается алгоритм работы экстремального регулятора в системе, схема которой приведена на рис. 14.7?

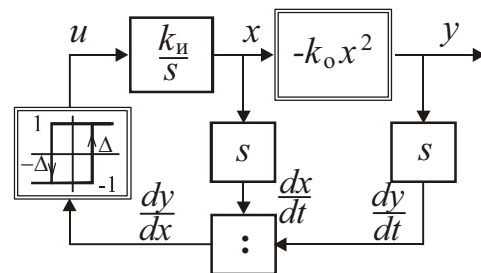


Рис. 14.7

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $u = \text{sign} \left[ \frac{dy}{dx} - \Delta \cdot \text{sign} \frac{d}{dt} \left( \frac{dy}{dx} \right) \right];$
- 2)  $u = \text{sign} \left( \frac{dy}{dx} - \Delta \right) \text{sign} \frac{d}{dt} \left( \frac{dy}{dx} \right);$
- 3)  $u = \text{sign} \left[ \frac{dy}{dx} + \Delta \right] \text{sign} \frac{dx}{dt};$
- 4)  $u = \text{sign} \left[ \frac{dy}{dt} + \Delta \right] \text{sign} \frac{dx}{dt}.$

14.3.4. Каков характер изменения  $y(t)$  в установившемся режиме в системе экстремального управления, схема которой приведена на рис. 14.8?

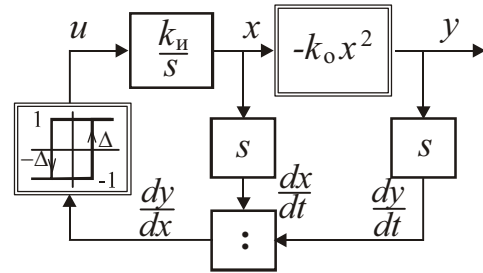
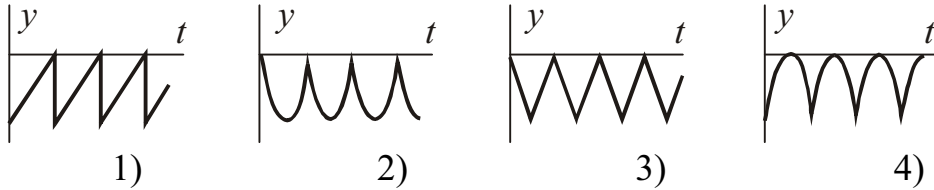


Рис. 14.8

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



14.3.5. В каком виде записывается алгоритм работы экстремального регулятора, в системе, схема которой приведена на рис. 14.9?

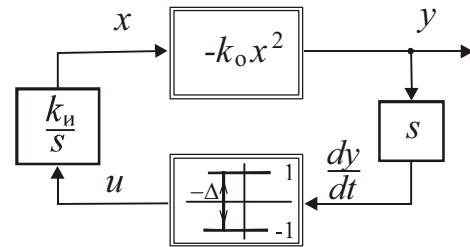


Рис. 14.9

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $u = \text{sign}\left(\frac{dy}{dx} - \Delta\right) \text{sign} \frac{dx}{dt}$ ;      3)  $u = \text{sign} \frac{dy}{dx}$ ;  
 2)  $u = \text{sign}\left(\frac{dy}{dt} + \Delta\right) \text{sign} \frac{dx}{dt}$ ;      4)  $u = \text{sign}\left(\frac{dy}{dx} - \Delta\right)$ .

14.3.6. Каков характер изменения  $x(t)$  в установившемся режиме в системе экстремального управления, схема которой приведена на рис. 14.10?

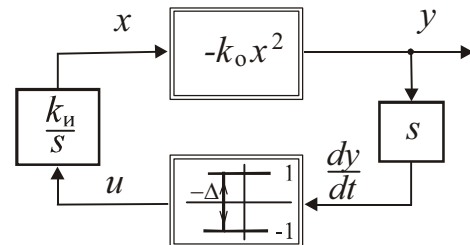
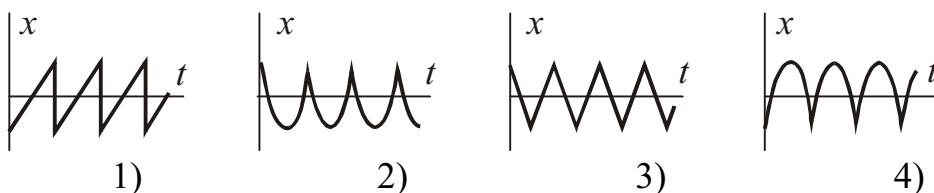


Рис. 14.10

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:



**14.3.7.** Каково условие переключения управляющего воздействия в экстремальной системе с запоминанием максимума  $y_{\text{макс}}$ , если выходной сигнал запоминающего устройства есть  $y_{3y}$  и порог сравнения равен  $\Delta$ ?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $u = \text{sign}(y - y_{3y} + \Delta)$ ;                           | 4) $u = \text{sign} \frac{dy}{dx} (y - y_{3y} + \Delta)$ ;                |
| 2) $u = \text{sign} \left( \frac{dy}{dt} - y_{3y} + \Delta \right)$ ; | 5) $u = \text{sign} \left( \frac{dy}{dx} + \Delta \right) (y - y_{3y})$ . |
| 3) $u = \text{sign}(y - y_{3y}) + \Delta$ ;                           |   |

**14.3.8.** Определите уравнение фазовых траекторий на плоскости  $(x, z)$  для системы с запоминанием экстремума (рис. 14.11).

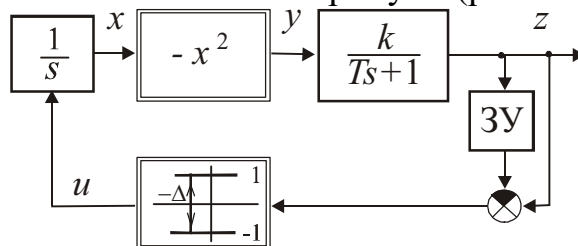


Рис. 14.11

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $\frac{dx}{dz} = \mp \frac{1}{T} (kx^2 + z)$ ; | 4) $\frac{dx}{dz} = \pm \frac{1}{T} (kx^2 - z)$ ; |
| 2) $\frac{dz}{dx} = \pm \frac{1}{T} (kx^2 - z)$ ; | 5) $\frac{dz}{dx} = \pm \frac{1}{T} (kx^2 + z)$ . |
| 3) $\frac{dz}{dx} = \pm T (z - kx^2)$ ;           |   |

**14.3.9.** На рис. 14.12 показан предельный цикл на фазовой плоскости для системы, рассмотренной в задаче 14.3.8. Определите период колебаний.

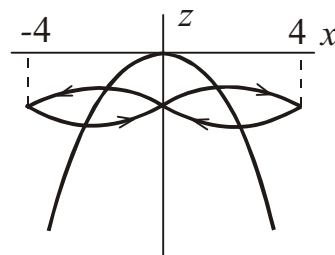


Рис. 14.12

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |       |       |        |                 |                 |
|-------|-------|--------|-----------------|-----------------|
| 1) 4; | 2) 8; | 3) 16; | 4) $4/\Delta$ ; | 5) $8/\Delta$ . |
|-------|-------|--------|-----------------|-----------------|

**14.3.10.** Что понимают под «потерями на поиск»?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) максимальное отклонение выходной переменной от экстремального значения за период колебаний;
- 2) среднее значение отклонения выходной переменной от экстремального значения за период колебаний;
- 3) энергию, затраченную в процессе движения к экстремуму;
- 4) среднюю мощность управления за период колебаний в окрестности экстремума.

**14.3.11.** Объект экстремального управления описывается уравнением

$$y = -x^2.$$

На рис. 14.13 показаны колебания входной  $x$  и выходной  $y$  переменных объекта в окрестности максимума. Определите «потери на поиск».

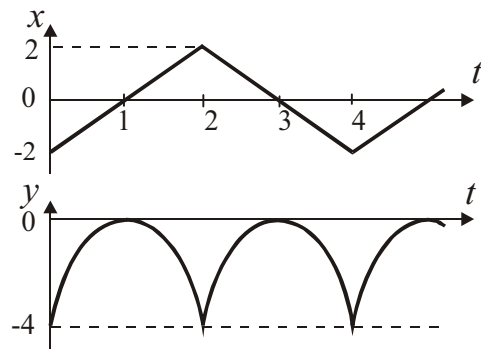


Рис. 14.13

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $\frac{8}{3}$ ;
- 2)  $-\frac{8}{3}$ ;
- 3)  $\frac{4}{3}$ ;
- 4)  $-\frac{4}{3}$ .

**14.3.12.** Каким способом может быть повышена устойчивость поиска в системе с запоминанием экстремума при вертикальном дрейфе статической характеристики объекта?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) введением дополнительного воздействия по производной от управляющего воздействия;
- 2) введением дополнительного воздействия по интегралу от управляющего воздействия;
- 3) принудительным реверсом исполнительного устройства через определенные промежутки времени;
- 4) периодическим выключением запоминающего устройства.



**14.3.13.** Укажите необходимое условие экстремума функции многих переменных  $y = F(x_1, \dots, x_n)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll}
 1) \frac{\partial F}{\partial x_1} = \frac{\partial F}{\partial x_2} = \dots = \frac{\partial F}{\partial x_n}; & 3) \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial x_i} = 0; \\
 2) \frac{\partial^2 F}{\partial x_i \partial x_j} \geq 0; i, j = 1, \dots, n; & 4) \frac{\partial F}{\partial x_i} = 0, i = 1, \dots, n.
 \end{array}$$

**14.3.14.** Определите составляющую градиента функции

$$F(x_1, x_2) = x_1 e^{x_2} + x_1^2$$

в точке  $\mathbf{x}_0 = (x_{10}, x_{20})$  в направлении оси  $x_1$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{lll}
 1) 2 \cdot x_0; & 3) e^{x_{20}} + 2 \cdot x_{10}; & 5) x_{10} e^{x_{20}} + x_{10}^2. \\
 2) x_{10} \cdot e^{x_{20}} + 2 \cdot x_{10}; & 4) x_{10} e^{x_{20}}; &
 \end{array}$$

**14.3.15.** Определите градиент функции качества

$$F(x_1, x_2) = 3x_1 + 2x_1^2 + 4x_2^2$$

экстремальной системы, если единичные векторы по направлениям  $x_1$  и  $x_2$  равны соответственно  $k_1$  и  $k_2$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll}
 1) (3x_1 + 2x_1^2)k_1 + 4x_2^2 k_2; & 3) 8x_2 k_1 + (3 + 4x_1)k_2; \\
 2) 4x_2^2 k_1 + (3x_1 + 2x_1^2)k_2; & 4) (3 + 4x_1)k_1 + 8x_2 k_2.
 \end{array}$$

**14.3.16.** Объект управления описывается уравнением

$$y = F(x_1, x_2) = -x_1^2 - 2x_2^2 - x_1 x_2.$$

В экстремальном регуляторе реализован шаговый вариант градиентного метода. Определите значения  $x_1, x_2$ , полученные после первого шага, если в начальной точке  $x_{10} = 4, x_{20} = 1$  и коэффициент передачи регулятора  $k_p = 0,1$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

$$\begin{array}{ll}
 1) x_1 = -0,9; x_2 = -1,6; & 3) x_1 = -9,0; x_2 = -16; \\
 2) x_1 = 3,1; x_2 = -0,6; & 4) x_1 = 4,9; x_2 = 2,6.
 \end{array}$$

**14.3.17.** Какая из приведенных на рис. 14.14 траекторий поиска экстремума функции  $F(x_1, x_2)$  соответствует методу наискорейшего подъема (спуска)?

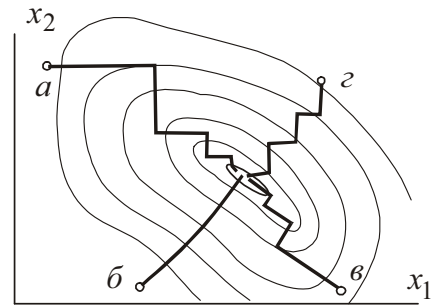


Рис. 14.14

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $a$  ;                      3)  $в$  ;
- 2)  $б$  ;                        4)  $з$  .

**14.3.18.** На рис. 14.15 показана траектория движения к экстремуму функции  $F(x_1, x_2)$ . Какой метод поиска экстремума используется в системе экстремального регулирования?

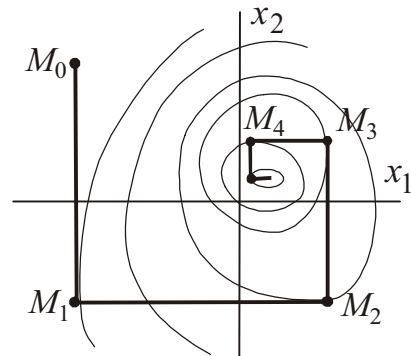


Рис. 14.15

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) метод Гаусса–Зайделя;      3) метод наискорейшего спуска;
- 2) метод градиента;              4) мало данных.

**14.3.19.** Обеспечивает ли метод градиента поиск глобального экстремума функции качества?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) не обеспечивает;              3) обеспечивает только в окрестности
- 2) обеспечивает;                      глобального экстремума.

**14.3.20.** В системе экстремального управления с функцией качества  $F(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2 + x_1x_2$  поиск экстремума осуществляется методом Гаусса–Зайделя с изменением координат  $x_1$  и  $x_2$  в последовательности  $x_1, x_2, x_1, x_2, \dots$ . Определите координаты  $x_1, x_2$  первых двух точек при движении к экстремуму из начального состояния  $(x_{10}; x_{20}) = (2; 3)$ .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1)  $(-1,5; 3,0)$ ;      2)  $(1,5; 3,0)$ ;      3)  $(-1,5; 3,0)$ ;      4)  $(1,5; 3,0)$ ;
- $(-1,5; 0,75)$ ;       $(1,5; -0,75)$ ;       $(-1,5; -0,75)$ ;       $(1,5; 0,75)$ .

## 14.4. Адаптивные системы автоматического управления

14.4.1. В каких случаях возникает необходимость применения адаптивных систем?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) параметры объекта меняются в широком диапазоне;
- 2) характеристики внешних воздействий меняются в широком диапазоне;
- 3) параметры объекта и характеристики внешних воздействий меняются в широком диапазоне;
- 4) во всех перечисленных случаях.

14.4.2. Адаптивная система состоит из объекта управления (ОУ), регулятора (Р) и адаптора (А). Определите их место в схеме системы, показанной на рис. 14.16.

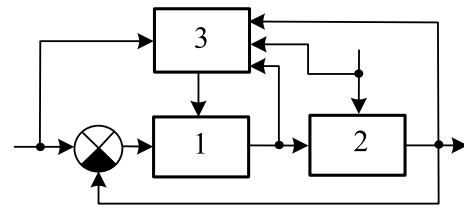


Рис. 14.16

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- |            |           |           |           |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1) 1 – ОУ, | 2) 1 – Р, | 3) 1 – А, | 4) 1 – Р, |
| 2 – Р,     | 2 – ОУ,   | 2 – ОУ,   | 2 – А,    |
| 3 – А;     | 3 – А;    | 3 – Р;    | 3 – ОУ;   |

14.4.3 Для каких из указанных ниже целей используются самонастраивающиеся системы автоматического управления?

- а) для стабилизации заданного показателя качества САУ;
- б) для поддержания экстремума показателя качества САУ;
- в) для самонастройки управляющего устройства.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) а, б;
- 4) в;
- 5) а, б, в.

**14.4.4.** За счет каких изменений в регуляторе основного контура достигается адаптация в самонастраивающейся системе?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) параметров;
- 2) структуры;
- 3) структуры и параметров;
- 4) алгоритма управления.

**14.4.5.** К какому типу самонастраивающихся систем относится система с приведенной на рис. 14.17 структурой, если в ней Р – регулятор, ОУ – объект управления, ПИУ – преобразовательно-исполнительное устройство, а ИУ – измерительное устройство ?

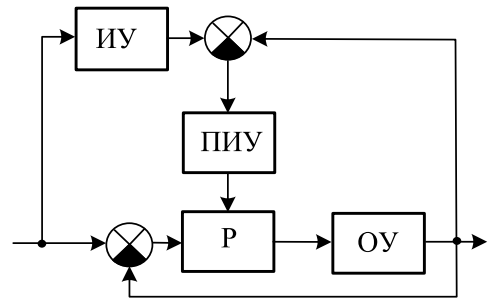


Рис. 14.17

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) с эталонной моделью;
- 2) с коррелятором;
- 3) с самонастройкой по входному сигналу.

**14.4.6.** Какая из приведенных на рис. 14.18 функциональных схем соответствует самонастраивающейся системе с подстраиваемой моделью?

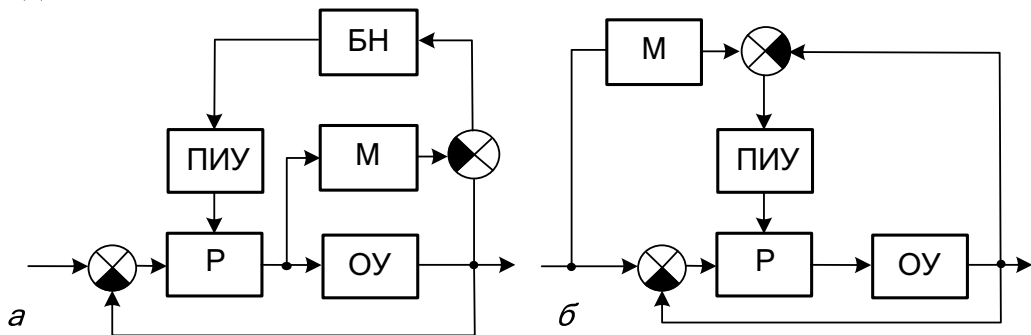


Рис. 14.18

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) а;
- 2) б;
- 3) а и б;
- 4) ни одна из приведенных.

**14.4.7.** Повышения или понижения чувствительности в САУ добиваются, используя алгоритмы адаптивного управления?

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) повышения;
- 2) понижения;
- 3) чувствительность не меняется.

**14.4.8.** На рис. 14.19 показана схема само-настраивающейся системы. Для чего введен в состав контура само-настройки идентификатор И?

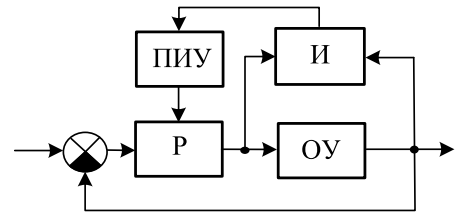


Рис. 14.19

Здесь ПИУ – преобразовательно-исполнительное устройство.

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- 1) для подавления помех, действующих на объект управления;
- 2) для проверки ограничений, заданных для объекта управления;
- 3) для оценивания параметров объекта управления;
- 4) для проверки исправности объекта управления.

**14.4.9.** В адаптивной системе с эталонной моделью используется градиентный метод настройки регулятора основного контура для достижения условия  $J = \varepsilon^2 \rightarrow \min$ . Укажите закон изменения настраиваемых параметров  $k_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ , регулятора.

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |  |  |
|--|--|
| 1) $\dot{k}_i(t) = -\lambda_i \frac{\partial J}{\partial k_i}, i = \overline{1, N};$ | 3) $k_i(t) = -\lambda_i \frac{\partial J}{\partial k_i}, i = \overline{1, N};$ |
| 2) $\dot{k}_i(t) = \lambda_i \frac{\partial J}{\partial k_i}, i = \overline{1, N};$  | 4) $k_i(t) = \lambda_i \frac{\partial J}{\partial k_i}, i = \overline{1, N}.$  |

**14.4.10.** Основной контур управления и эталонная модель в адаптивной системе описываются соответственно уравнениями:

$$\dot{x}(t) + [a_0 + a_1(t) - k(t)] x(t) = g(t);$$

$$\dot{x}_3(t) + a_0 x_3(t) = g(t).$$

Используя метод градиента, найдите закон изменения коэффициента передачи  $k$ , обеспечивающий минимизацию критерия  $J(\varepsilon) = \varepsilon^2$ , где  $\varepsilon(t) = x_3(t) - x(t)$ .

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |  |   |
|--|---|
| 1) $\dot{k}(t) = 2\alpha \varepsilon(t) \frac{dx(t)}{dk};$ | 3) $\dot{k}(t) = -2\alpha \varepsilon(t) \frac{dx(t)}{dk};$ |
| 2) $k(t) = 2\alpha \varepsilon(t) \frac{dx(t)}{dk};$       | 4) $k(t) = -2\alpha \varepsilon(t) \frac{dx(t)}{dk}.$       |

**14.4.11.** Основной контур управления и эталонная модель в адаптивной системе описываются соответственно уравнениями:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) + [a_0 + a_1(t) - k(t)] x(t) &= g(t); \\ \dot{x}_3(t) + a_0 x_3(t) &= g(t).\end{aligned}$$

Используя метод Ляпунова, найдите закон изменения коэффициента передачи  $k$ , обеспечивающий совпадение движений основного контура и эталонной модели:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} [x_3(t) - x(t)] = 0.$$

*Указания:* 1. Используйте для ошибки  $\varepsilon(t)$  уравнение в виде

$$\dot{\varepsilon}(t) + a_0 \varepsilon(t) = z(t) x(t), \text{ где } z(t) = a_1(t) - k(t).$$

2. Используйте функцию Ляпунова  $V(\varepsilon, z) = \alpha \varepsilon^2 + z^2$ .

3. Параметр  $k(t)$  удовлетворяет условию квазистационарности.

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |   |  |
|---|--|
| 1) $\dot{k}(t) = \alpha \varepsilon(t) x(t);$ | 3) $k(t) = \alpha \varepsilon(t) x(t);$  |
| 2) $\dot{k}(t) = -\alpha \varepsilon(t) x(t)$ | 4) $k(t) = -\alpha \varepsilon(t) x(t).$ |

**14.4.12.** Основной контур управления и эталонная модель в адаптивной системе описываются соответственно уравнениями:

$$\begin{aligned}\ddot{y}(t) + a_1 \dot{y}(t) + a_0 y(t) &= k_p(t) k_0(t) g(t); \\ \ddot{y}_3(t) + a_1 \dot{y}_3(t) + a_0 y_3(t) &= k_3 g(t).\end{aligned}$$

Используя метод Ляпунова, найдите закон изменения коэффициента передачи  $k_p$ , обеспечивающий совпадение движений основного контура и эталонной модели:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} [x_3(t) - x(t)] = 0.$$

*Указания:* 1. Используйте для ошибки  $\varepsilon(t)$  уравнение в виде

$$\ddot{\varepsilon}(t) + a_1 \dot{\varepsilon}(t) + a_0 \varepsilon(t) = z(t) g(t), \text{ где } z(t) = k_3 - k_0(t) k_p(t).$$

2. Используйте функцию Ляпунова  $V(\varepsilon, z) = \dot{\varepsilon}^2 + a_0 \varepsilon^2 + \lambda z^2 / k_0$ .

3. Параметр  $k_0(t)$  удовлетворяет условию квазистационарности.

**ВАРИАНТЫ ОТВЕТА:**

- |   |   |
|---|---|
| 1) $k_p(t) = -\frac{1}{\lambda} \dot{\varepsilon}(t) g(t);$ | 3) $\dot{k}_p(t) = -\frac{1}{\lambda} \dot{\varepsilon}(t) g(t);$ |
| 2) $k_p(t) = \frac{1}{\lambda} \dot{\varepsilon}(t) g(t);$  | 4) $\dot{k}_p(t) = \frac{1}{\lambda} \dot{\varepsilon}(t) g(t).$  |

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ<sup>1</sup>

**Автоколебание** – устойчивое незатухающее со временем собственное периодическое движение в нелинейной системе.

**Автоматическое управление** – управление, при котором управляющие воздействия вырабатываются и осуществляются без непосредственного участия человека-оператора.

**Автономное управление** – управление, при котором управляющие воздействия вырабатываются таким образом, что обеспечивается изменение каждой управляемой координаты независимо от изменений значений других управляемых координат.

**Адаптивное управление** – управление, при котором управляющие воздействия вырабатываются с учетом изменяющихся в процессе эксплуатации свойств системы управления и/или воздействий внешней среды за счет изменения параметров, структуры и/или алгоритмов управляющего устройства.

**Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)** – зависимость модуля комплексного коэффициента передачи системы от частоты входного воздействия, который на каждой частоте равен отношению амплитуды выходного сигнала к амплитуде входного гармонического воздействия в установившемся режиме.

**Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ)** – характеристика системы, отражающая значения её комплексного коэффициента передачи на разных частотах в диапазоне от 0 до  $\infty$ .

**Амплитудно-фазовый годограф (АФГ)** – графическое отображение на комплексной плоскости амплитудно-фазовой частотной характеристики системы, представляющее собой семейство точек, образуемых концами векторов комплексных коэффициентов передачи на разных частотах в диапазоне от 0 до  $\infty$ .

**Векторно-матричная структурная схема** – графическое отображение математической модели многомерной по ходу и/или выходу системы (её подсистемы), включающее в себя в общем случае линии, сумматоры и звенья. Связывающие звенья и сумматоры линии отображают векторные переменные системы, а звенья характеризуются операторами, отражающими преобразование входных переменных в выходные. В линейных стационарных непрерывных системах роль таких операторов выполняют матрицы, операторы интегрирования и/или дифференцирования.

---

<sup>1</sup> – Значительная часть использованных в задачнике и приведенных здесь определений соответствует [4].

**Вещественная частотная характеристика (ВЧХ)** – зависимость вещественной части комплексного коэффициента передачи от частоты входного воздействия.

**Возмущение** – воздействие извне на любой элемент (подсистему) системы управления, затрудняющее, как правило, достижение цели управления.

**Восстанавливающее управление** – управление, цель которого заключается в возвращении в состояние исправности, работоспособности или правильности функционирования системы управления, утраченное вследствие недопустимых возмущений, дефектов её элементов и/или структуры.

**Время переходного процесса (время регулирования)** – интервал времени с момента подачи типового воздействия на вход системы до момента вхождения значений её выходной переменной в заданный диапазон (обычно 5-процентный) её значений в установившемся режиме после окончания переходного процесса.

**Время памяти объекта управления** – время, в течение которого объект управления продолжает изменять свое состояние после исчезновения действовавшего на него входного воздействия.

**Время чистого запаздывания** – временной интервал между моментом начала изменения входных воздействий на систему и моментом начала вызываемого ими изменения выходных переменных системы.

**Диграф системы** – ориентированный граф без петель, вершинами которого являются множества входных, выходных и внутренних переменных системы, а дуги отражают ненулевые элементы матриц состояния, входов и выходов системы. При этом элементу  $a_{ij}$  матрицы состояния  $A$  соответствует дуга, выходящая из вершины  $x_j$  в вершину  $x_i$  вектора состояния, где  $x_i, x_j$  – переменные состояния системы. Элементу  $b_{ij}$  матрицы управления  $B$  соответствует дуга из вершины  $u_j$ , принадлежащей вектору управления  $u$  в вершину  $x_i$ . Аналогичным образом определяются дуги диграфа системы и по другим матрицам входов и выходов.

**Достижимость** – свойство системы, отражающее возможность её перевода за конечное время при имеющихся ресурсах по управлению из начала пространства состояний в какие-либо другие заданные состояния.

**Задающее воздействие (уставка)** – внешнее воздействие на систему, определяющее желаемый закон изменения управляемых переменных в системе.

**Запас устойчивости по амплитуде** – определяемое в децибелах минимальное из множества значений  $20 \lg |B_i|$ , где  $B_i$  – длина отрезка от



начала координат плоскости амплитудно-фазового годографа системы в разомкнутом состоянии до  $i$ -й точки пересечения этого годографа с отрицательной вещественной полуосью плоскости. *Другое определение:* измеряемое в децибелах по ЛАЧХ системы в разомкнутом состоянии  $L(\omega)$  минимальное значение  $L(\omega_{c_i})$ , где  $\omega_{c_i}$  – значение частоты, при которой фазовая частотная характеристика системы в разомкнутом состоянии  $\varphi(\omega_{c_i}) = -\pi$ . Определяется только для устойчивых систем.

**Запас устойчивости по модулю** – величина, равная радиусу окружности с центром в точке с координатами  $(-1, j0)$  (в плоскости амплитудно-фазового годографа  $W_p(j\omega)$  системы с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии), касательной к  $W_p(j\omega)$ .

**Запас устойчивости по фазе** – измеряемый в дуговых градусах или радианах угол между отрицательной вещественной полуосью плоскости амплитудно-фазового годографа  $W_p(j\omega)$  системы с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии и радиусом, проведенным из начала этой плоскости в точку пересечения  $W_p(j\omega)$  с центральной окружностью единичного радиуса в этой плоскости, ближайшую к точке с координатами  $(-1, j0)$ . *Другое определение:* измеряемая в дуговых градусах или радианах по логарифмическим амплитудной  $L_p(\omega)$  и фазовой  $\varphi_p(\omega)$  частотным характеристикам системы с единичной отрицательной обратной связью в разомкнутом состоянии величина  $\varphi_{\text{зап}} = \pi - |\varphi_p(\omega_c)|$ , определяемая на частоте среза  $\omega_c$ , при которой  $L_p(\omega_c) = 0$ .

**Зона застоя** – диапазон значений ошибки регулирования, при которых система автоматического регулирования может оставаться в состоянии покоя.

**Зона нечувствительности** – часть вход-выходной статической характеристики устройства (объекта, системы), соответствующая диапазону изменения его входных координат, в котором значения выходных координат практически не изменяются.

**Измерительный элемент** – элемент, предназначенный для осуществления измерений (в системе управления).

**Импульсная переходная (весовая) функция** – аналитическое или графическое отображение изменения выходной переменной системы при подаче на её вход при нулевых начальных условиях импульсного воздействия типа  $\delta$ -функции.

**Инвариантность** – свойство системы, отражающее независимость какой-либо её внутренней или выходной переменной (переменных) в

статических и установившихся динамических режимах от одного или нескольких входных воздействий.

**Индекс каузальности** – величина, характеризующая свойство каузальности системы и равная для дискретных по времени систем числу тактов, через которое начнет меняться выходной сигнал под действием входного сигнала. Для непрерывных по времени систем индекс каузальности определяет порядок производной выходного сигнала системы, на которую непосредственно влияет входной сигнал системы. Индекс каузальности определяется как между каждой из входных и выходных переменных системы, так и между всеми входами и каждым выходом системы в отдельности или же между всей совокупностью входов и всей совокупностью выходов. Индекс каузальности между входом  $u_i(t)$  и выходом  $y_j(t)$  системы равен уменьшенному на единицу числу дуг минимального пути в диграфе системы между вершинами  $u_i$  и  $y_j$ .

**Индекс управляемости** – количественная мера управляемости, равная для системы, описываемой моделью в форме «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

где  $x \in R^n$ ,  $u \in R^m$ ,  $y \in R^p$  – соответственно, векторы состояния, входа и выхода, наименьшему числу  $\alpha$ , при котором впервые выполняется условие:  $\text{rank} [A^{-1}B, A^{-2}B, A^{-3}B, \dots, A^{-\alpha}B] = n$ .

**Индекс наблюдаемости** – количественная мера наблюдаемости, равная для системы, описываемой моделью в форме «вход-состояние-выход»

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + Du(t),$$

где  $x \in R^n$ ,  $u \in R^m$ ,  $y \in R^p$  – соответственно, векторы состояния, входа и выхода, наименьшему числу  $\beta$ , при котором впервые выполняется условие:  $\text{rank} [C, CA, CA^2, CA^3, \dots, CA^\beta]^T = n$ .

**Каузальность** – свойство системы, отражающее наличие нестатической связи между её входом (входами) и выходом (выходами). Динамические системы, описываемые моделью в форме «вход-состояние-выход»

$$\sigma x(t) = g(x, u, t), \quad y(t) = h(x, u, t),$$

где  $x \in R^n$ ,  $u \in R^m$ ,  $y \in R^p$  – соответственно, векторы состояния, входа, выхода, и при этом для непрерывных по времени  $t$  систем  $\sigma x(t) \triangleq dx/dt$ , а для дискретных систем с относительным временем  $\sigma x(t) \triangleq x(t+1)$ , называют бикаузальными (или просто каузальными).

Если же у системы выход  $y(t) = h(x, t)$ , т.е. непосредственно не зависит от управления  $u(t)$ , то её называют строго каузальной.

**Комплексный коэффициент преобразования (передачи) линейной системы** – выраженное комплексным числом отношение синусоидально изменяющихся во времени значений выходной координаты объекта к синусоидально изменяющимся с той же частотой значениям входной координаты, отражающее соотношение их амплитуд и сдвиг по фазе в установившемся режиме функционирования.

**Критический коэффициент передачи системы** – значение статического коэффициента передачи системы в разомкнутом состоянии, при котором данная система в замкнутом состоянии оказывается на границе устойчивости.

**Линия переключения в фазовом пространстве** – линия в фазовом пространстве, точки которой соответствуют тем состояниям системы, при которых происходит смена математических моделей, описывающих протекающие в системе процессы.

**Матрица состояния линейной системы** – матрица, входящая в линейное однородное уравнение, описывающее собственные движения системы.

**Мнимая частотная характеристика (МЧХ)** – зависимость от частоты мнимой части комплексного коэффициента передачи системы.

**Наблюдаемость состояния** – свойство объекта, заключающееся в возможности оценки значений координат  $x(t_0)$ , определяющих состояние этого объекта в момент  $t_0$ , по измеренным значениям его выходных координат  $y(t)$  на конечном интервале  $t \in [t_0, t_k]$ .

**Ноль системы** – значение корня уравнения, получаемого приравниванием нулю числителя передаточной функции системы.

**Объект управления** – объект, для достижения желаемых результатов функционирования которого необходимы и допустимы специально организованные (управляющие) воздействия.

**Операторно-структурная схема** – графическое отображение математической модели, описывающей процессы в системе, предварительно преобразованной с использованием любого операторного преобразования (Лапласа,  $z$ -преобразования и т.п.) в совокупность операторных уравнений.

**Оптимальное управление** – управление, цель которого заключается в обеспечении экстремального значения показателя качества управления.

**Основной контур управления** – контур управления, образованный основной прямой цепью и основной цепью обратной связи.

**Передаточная матрица** – матрица, элементами которой являются передаточные функции между множествами входных и выходных перемен-

ных системы, записанные в строго определенном порядке так, что  $(i, j)$ -м элементом этой матрицы является передаточная функция между  $i$ -м выходом системы и её  $j$ -м входом.

**Передаточная функция** – отношение преобразования по Лапласу аналитической зависимости от времени выходной координаты линейного объекта к преобразованию по Лапласу такой же зависимости от времени входной его координаты, полученное при нулевом начальном состоянии.

**Перерегулирование** – отношение максимального отклонения выходной координаты системы в переходном режиме функционирования при ступенчатом воздействии от её значения в установившемся режиме к этому последнему значению, выраженное в процентах.

**Переходная функция** – временная характеристика линейного объекта, отражающая изменение во времени его выходной координаты под действием при нулевых начальных условиях входной координаты, имеющей форму единичного ступенчатого скачка  $1(t)$ .

**Показатель колебательности** – минимальное значение отношения вещественной части к мнимой части для всего множества корней характеристического уравнения устойчивой линейной непрерывной системы.

**Полнос системы** (корень характеристического уравнения системы) – значение корня характеристического уравнения системы, получаемого приравниванием нулю знаменателя передаточной функции системы (если она одномерна по входу и выходу), или значение корня любого из уравнений, получаемых приравниванием нулю знаменателей всех передаточных функций системы, входящих в её передаточную матрицу.

**Предельный цикл** – замкнутая траектория в фазовом пространстве системы, соответствующая какому-либо собственному периодическому движению системы.

**Программное регулирование** – регулирование, цель которого заключается в обеспечении соответствия значений управляемых переменных значениям уставки, меняющимся заранее известным образом.

**Пропорциональный закон управления** – линейный закон управления, отражающий прямо пропорциональную зависимость значения управляющего воздействия от значения воздействия отклонения.

**Пропорционально-дифференциальный закон управления** – линейный закон управления, отражающий прямо пропорциональную зависимость значения управляющего воздействия от суммы взвешенных значений воздействия отклонения и его производной по времени.

**Пропорционально-интегральный закон управления** – линейный закон управления, отражающий прямо пропорциональную зависимость зна-

чения управляющего воздействия от суммы взвешенных значений воздействия отклонения и интеграла от него, взятого по времени.

**Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон управления** – линейный закон управления, отражающий прямо пропорциональную зависимость значения управляющего воздействия от суммы взвешенных значений воздействия отклонения, интеграла и производной по времени от этого воздействия.

**Пространство состояний системы** – ортонормированное пространство, по осям которого откладываются значения его переменных состояния.

**Противоаварийное управление** – управление, цель которого заключается в предотвращении развития аварийных событий, возникающих в системе управления.

**Полоса пропускания системы** – диапазон частот от  $\omega = 0$  до частоты, при которой амплитудно-частотная характеристика системы принимает значение 0,707.

**Расширенная амплитудно-фазовая частотная характеристика** – амплитудно-фазовая частотная характеристика линейной непрерывной системы, получаемая заменой в передаточной функции системы  $W(s)$  оператора  $s$  на  $(-\mu\omega + j\omega)$ , где  $\mu$  – постоянная величина, в качестве которой при синтезе САУ обычно используют желаемый показатель колебательности синтезируемой системы.

**Регулирование** – управление, цель которого заключается в обеспечении близости текущих значений одной или нескольких координат объекта управления к их заданным значениям.

**Система автоматического регулирования (САР)** – разновидность системы автоматического управления, обеспечивающая решение задачи стабилизации, слежения, программного и/или экстремального управления данным объектом.

**Система автоматического управления (САУ)** – совокупность объекта управления и управляющего устройства, реализующая без непосредственного участия людей необходимые задачи управления данным объектом.

**Система обратимая линейная непрерывная** – линейная непрерывная система, у которой детерминант матрицы состояния не равен нулю.

**Система управления** – система, состоящая из управляющего объекта и объекта управления.

**Система экстремального управления** – система автоматического управления, обеспечивающая решение задачи поддержания в системе заданного функционала качества или статической характеристики на экстремальном уровне.

**Скважность импульса** – отношение длительности импульса к периоду дискретизации в системе.

- Скелетная (0,1)-матрица** – матрица, получаемая из исходной матрицы с элементами, определенными на поле вещественных чисел, заменой всех её ненулевых элементов единицей и сохранением её нулевых элементов на их исходных позициях.
- Следящее регулирование** – регулирование, цель которого заключается в обеспечении соответствия значений управляемых переменных значениям воздействий (сигналов), меняющимся заранее неизвестным образом.
- Стабилизация** – регулирование, цель которого заключается в обеспечении постоянства значений управляемых координат на заданном интервале времени.
- Степень колебательности (колебательность)** – количественная мера колебательности системы, равная максимальному значению из отношений мнимой части к вещественной части для всего множества корней характеристического уравнения устойчивой линейной непрерывной системы.
- Степень устойчивости** – количественная мера устойчивости, равная значению модуля вещественной составляющей ближайшего к мнимой оси плоскости корней корня характеристического уравнения устойчивой линейной непрерывной системы.
- Терминальное управление** – управление, цель которого заключается в переводе объекта управления в заданное конечное состояние в заданный момент времени.
- Управление по возмущениям** – управление, при котором управляющие воздействия вырабатываются только по значениям возмущений (сигналов возмущений) на объект управления и значениям задающих воздействий (задающих сигналов).
- Управление по отклонениям** – управление с обратной связью, при котором управляющие воздействия вырабатываются только по значениям воздействий (сигналов) отклонений.
- Управляемость** – свойство объекта управления, заключающееся в том, что существуют управляющие воздействия, способные обеспечить достижение цели управления в условиях заданных ограничений.
- Управляемость состояния** – свойство системы, отражающее возможность её перевода за конечное время при имеющихся ресурсах из какого-либо ненулевого начального состояния в нулевое начальное состояние.
- Устойчивость абсолютная** – устойчивость состояний равновесия или процессов в нелинейной системе, сохраняющаяся при любых уровнях исчезающих со временем возмущений и при нелинейности в системе, принадлежащей некоторому множеству.
- Устойчивость асимптотическая** – свойство объекта, заключающееся в том, что, помимо устойчивости по Ляпунову, отклонения значений его

координат после возмущений от значений этих же координат при невозмущенном состоянии или процессе стремятся к нулю при неограниченном возрастании времени.

**Устойчивость «в малом»** – свойство объекта, заключающееся в способности сохранять достаточно малыми отклонения значений координат возмущенного процесса после действия возмущения от значений тех же координат невозмущенного процесса, если эти отклонения были достаточно малы в момент окончания возмущения.

**Устойчивость «в большом»** – свойство системы, заключающееся в её способности возвращаться к невозмущенному состоянию равновесия или процессу после выведения из этого состояния или процесса под действием возмущений из конечного окружающего это состояние или процесс множества состояний после прекращения действия возмущений.

**Устойчивость «в целом»** – свойство системы, заключающееся в её способности возвращаться к невозмущенному состоянию равновесия или процессу при любых отклонениях от него под действием возмущений после прекращения действия возмущений.

**Фазовое пространство** – ортонормированное пространство, по осям которого откладываются переменные состояния системы, используемое для отображения состояний и процессов, протекающих в системе.

**Фазо-частотная характеристика (ФЧХ)** – зависимость аргумента комплексного коэффициента передачи линейного объекта от частоты входного гармонического воздействия.

**Финитное управление** – управление, цель которого заключается в переводе объекта управления из заданного начального состояния в заданное конечное состояние за ограниченное время.

**Частота среза логарифмической амплитудной частотной характеристики** – частота, при которой значение ЛАЧХ равно нулю.

**Эквивалентный комплексный коэффициент передачи нелинейного элемента** – отношение первой гармоники выходного сигнала нелинейного элемента в установившемся режиме к входному сигналу при гармоническом характере изменения последнего.

**Экстремальное управление** – управление, цель которого заключается в достижении и удержании экстремума заданного показателя качества функционирования объекта управления.

**Критерии устойчивости систем  
с интервально-определенными параметрами (серых систем)**

Исходные допущения

Полагаем, что характеристический полином системы с интервально-определенными параметрами имеет вид

$$g(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_{n-1} s + a_n, \quad (1)$$

причем для всех  $i \in \overline{0, n}$  выполняются условия:

$$0 < p_i \leq a_i \leq q_i. \quad (2)$$

Собственные движения системы с интервально-определенными параметрами и непрерывным временем описываются уравнением

$$\dot{x}(t) = Ax(t), \quad (3)$$

а в случае дискретного времени – уравнением

$$x(k+1) = Ax(k). \quad (4)$$

При этом  $x \in R^n$ ;  $A = [a_{ij}]$ , и  $e_{ij} \leq a_{ij} \leq f_{ij}$  для всех  $i, j \in \overline{1, n}$ .

**Критерии В. Л. Харитонова [8]**

**Критерий (теорема) 1.** Для того чтобы  $\Gamma^n \subset G^n$ , необходимо и достаточно, чтобы  $\Gamma_1^n \subset G^n$ .

Здесь  $G^n$  – множество полиномов вида (1), все корни которых лежат в левой половине комплексной плоскости,  $\Gamma^n$  – семейство всех полиномов вида (1) с коэффициентами, удовлетворяющими (2), а  $\Gamma_1^n$  – семейство тех полиномов из  $\Gamma^n$ , у которых  $a_0 = 1$ , а каждый коэффициент  $a_i, i \in \overline{1, n}$  равен либо  $p_i$ , либо  $q_i$  (т.е.  $\Gamma_1^n$  содержит  $2^n$  полиномов).

**Критерий (теорема) 2.** Для того чтобы  $\Gamma_1^n \subset G^n$ , необходимо и достаточно, чтобы принадлежали  $G^n$  четыре полинома  $g_i(s), i \in \overline{1, 4}$  из  $\Gamma_1^n$  со следующими наборами коэффициентов:



$g_1(s) -$

$$a_{n-2k} = \begin{cases} q_{n-2k}, & k \text{ четно,} \\ p_{n-2k}, & k \text{ нечетно,} \end{cases}$$
$$a_{n-2k-1} = \begin{cases} q_{n-2k-1}, & k \text{ четно,} \\ p_{n-2k-1}, & k \text{ нечетно;} \end{cases}$$

$g_2(s) -$

$$a_{n-2k} = \begin{cases} p_{n-2k}, & k \text{ четно,} \\ q_{n-2k}, & k \text{ нечетно,} \end{cases}$$
$$a_{n-2k-1} = \begin{cases} p_{n-2k-1}, & k \text{ четно,} \\ q_{n-2k-1}, & k \text{ нечетно;} \end{cases}$$

$g_3(s) -$

$$a_{n-2k} = \begin{cases} p_{n-2k}, & k \text{ четно,} \\ q_{n-2k}, & k \text{ нечетно,} \end{cases}$$
$$a_{n-2k-1} = \begin{cases} q_{n-2k-1}, & k \text{ четно,} \\ p_{n-2k-1}, & k \text{ нечетно;} \end{cases}$$

$g_4(s) -$

$$a_{n-2k} = \begin{cases} q_{n-2k}, & k \text{ четно,} \\ p_{n-2k}, & k \text{ нечетно,} \end{cases}$$
$$a_{n-2k-1} = \begin{cases} p_{n-2k-1}, & k \text{ четно,} \\ q_{n-2k-1}, & k \text{ нечетно.} \end{cases}$$

### Критерии устойчивости Л. Фахун [5]

**Критерий 1.** Если для системы с характеристическим уравнением (1)

$$\text{Max}_{1 \leq i \leq n-2} T_i < 0,465 \text{ или } \text{Max}_{1 \leq i \leq n-3} (T_i + T_{i+1}) < 0,89,$$

где

$$T_1 = \frac{q_0 q_3}{p_1 p_2}; \quad T_2 = \frac{q_1 q_4}{p_2 p_3}; \quad \dots, \quad T_{n-2} = \frac{q_{n-3} q_n}{p_{n-2} p_{n-1}},$$

то данная система устойчива.

**Критерий 2.** Если для системы с характеристическим уравнением (1)

$$\max_{1 \leq i \leq n-2} t_i \geq 1,$$

где

$$t_1 = \frac{P_0 P_3}{q_1 q_2}; \quad t_2 = \frac{P_1 P_4}{q_2 q_3}; \quad \dots, \quad t_{n-2} = \frac{P_{n-3} P_n}{q_{n-2} q_{n-1}},$$

то данная система неустойчива.

**Критерии устойчивости Yau-Tarng Juang, Chin-Shen Shao [6]**

Для формулировки критериев представим интервальную матрицу  $A$  системы (3) или (4) в виде  $A = A_0 + \Delta A$ , где

$$A_0 = [a_{0ij}] = \left[ \frac{1}{2} (e_{ij} + f_{ij}) \right]; \quad \Delta A = \left[ \frac{1}{2} (f_{ij} - e_{ij}) \right].$$

Пусть матрица  $T$  преобразует матрицу  $A_0$  к жордановой форме  $A_J = T^{-1} A_0 T$ , а матрица  $D = \text{diag}(\lambda_{ii})$ , где  $\lambda_{ii}$  – собственные значения матрицы  $A_0$ . Введем в рассмотрение также матрицу

$$H = [h_{ij}] = A_J - D + |T^{-1}| \cdot |\Delta A| \cdot |T|.$$

**Критерий 1.** Динамическая система с непрерывным временем (3) устойчива, если объединение кругов, центры которых находятся в точках

$\lambda_{ii}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , а радиусы равны  $R_i = \sum_{j=1}^n h_{ji}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , или объединение кругов

с теми же центрами и радиусами  $R_i = \sum_{j=1}^n h_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , внутри которых

расположены собственные значения матрицы  $A$ , не выходят из левой полуплоскости комплексной плоскости корней характеристического уравнения системы  $sI - A = 0$ .

**Критерий 2.** Динамическая система с дискретным временем (4) устойчива, если объединение кругов, центры которых находятся в точках

$\lambda_{ii}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , а радиусы равны  $R_i = \sum_{j=1}^n h_{ji}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , или объединение кругов

с теми же центрами и радиусами  $R_i = \sum_{j=1}^n h_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , внутри которых

расположены собственные значения матрицы  $A$ , не выходят из центрального круга единичного радиуса на комплексной плоскости корней характеристического уравнения системы  $sI - A = 0$ .

**Критерий 3.** Динамическая система с непрерывным временем (3) устойчива с запасом устойчивости  $M$ , если для всех  $i = \overline{1, n}$

$$\operatorname{Re}(\lambda_{ii}) + \sum_{j=1}^n h_{ij} < -M \quad \text{или} \quad \operatorname{Re}(\lambda_{ii}) + \sum_{j=1}^n h_{ji} < -M.$$

**Критерий 4.** Динамическая система с дискретным временем (4) устойчива с запасом устойчивости  $M$ , если для всех  $i = \overline{1, n}$

$$|\lambda_{ii}| + \sum_{j=1}^n h_{ij} < 1 - M \quad \text{или} \quad |\lambda_{ii}| + \sum_{j=1}^n h_{ji} < 1 - M.$$

**Критерий устойчивости Chao-Shun Zhou, Ju-Long Deng  
для дискретных по времени систем [7]**

Система (4) асимптотически устойчива, если спектральный радиус  $\rho(K)$  матрицы  $K = [k_{ij}]$ , где  $k_{ij} = \max(|e_{ij}|, |f_{ij}|)$ , меньше единицы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### *Использованная литература*

1. Сборник программированных задач по курсу «Теория автоматического управления». Часть 1 / Под ред. А. М. Малышенко. – Томск: Рота-принт Томского политехнического института, 1976. – 113 с.
2. Сборник программированных задач по курсу «Теория автоматического управления». Часть 2 / Под ред. А. М. Малышенко. – Томск: Рота-принт Томского политехнического института, 1978. – 128 с.
3. Бондин О. А. Сборник программированных задач по курсу «Теория автоматического управления». – М.: Изд-во Московского энергетического ин-та, 1964. – 184 с.
4. Теория управления. Терминология. Вып. 107. – М.: Наука, 1988. – 56 с.
5. Faxun L. Simple criteria for stability interval polynomials // Int. Journal of control, 1989, V. 50, № 1, p. 339–397 (см. также: Экспресс-информация «Системы автоматического управления», № 19, 1990, с. 5–9).
6. Yau-Tarng Juang, Chin-Shen Shao. Stability analysis of dynamic interval systems // Int. Journal of control, 1989, V. 49, № 4, p. 1401–1408 (см. также: Экспресс-информация «Системы автоматического управления», № 1, 1990, с. 10–13).
7. Chao-Shun Zhou, Ju-Long Deng. Stability analysis of gray discrete-time systems // IEEE Trans. Automatic Control, 1989, V. 34, № 2, p. 173–175.
8. Харитонов В. Л. Об асимптотической устойчивости положения равновесия семейства систем линейных дифференциальных уравнений // Дифференциальные уравнения, 1978, т. 14, № 11, с. 2086 – 2088.

### *Рекомендуемая литература*

9. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высшая школа, 1989. – 263 с.
10. Алексеев А. А., Имаев Д. Х., Кузьмин Н. Н., Яковлев В. Б. Теория управления. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999. – 435 с.
11. Антонов В. Н., Терехов В. А., Тюкин И. Ю. Адаптивное управление в технических системах. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2001. – 244 с.
12. Востриков А. С., Французова Г. А. Теория автоматического управления. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 364 с.
13. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 812 с.
14. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. – М.: Физматлит, 2003. – 288 с.

15. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – М.: Физматлит, 2004. – 464 с.
16. Кориков А. М. Основы теории управления. – Томск: Изд-во научнотехнической литературы, 2002. – 392 с.
17. Куропаткин П. В. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высшая школа, 1980. – 287 с.
18. Малышенко А. М. Математические основы теории систем. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2004. – 334 с.
19. Певзнер Л. Д. Теория систем управления. – М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2002. – 472 с.
20. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления. – М.: Наука, 1986. – 616 с.
21. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1988. – 304 с.
22. Попов Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
23. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. 3-е изд. перераб. и доп. / Под ред. В. А. Бесекерского. – М.: Наука, 1969. – 588 с.
24. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. Красовского А. А. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
25. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления. – М.: Наука, 1985. – 296 с.
26. Солодовников В. В., Плотников В. Н., Яковлев А. В. Теория автоматического управления техническими системами. – М.: Изд-во МГТУ, 1985. – 536 с.
27. Теория автоматического управления / Под ред. А. А. Воронова. Ч.1, II. – М.: Высшая школа, 1986. – Ч. 1 – 368 с.; Ч. 2 – 504 с.
28. Теория автоматического управления / Под ред. А. В. Нетушила. – М.: Высшая школа, 1976. – 400 с.
29. Теория автоматического управления / Под ред. Ю. М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 1999. – 268 с.
30. Топчеев Ю. И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1989. – 752 с.
31. Топчеев Ю. И., Цыпляков А. П. Задачник по теории автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1977. – 592 с.
32. Трофимов А. И., Егупов Н. Д., Дмитриев А. Н. Методы теории автоматического управления, ориентированные на применение ЭВМ. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 656 с.
33. Чураков Е. П. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.

## ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

### ГЛАВА 1

#### § 1.1

1.1.1.	4	1.1.4.	2	1.1.7.	1	1.1.10.	4
1.1.2.	2	1.1.5.	2	1.1.8.	4	1.1.11.	4
1.1.3.	1	1.1.6.	5	1.1.9.	4		

#### § 1.2

1.2.1.	1	1.2.3.	1	1.2.5.	2	1.2.7.	1
1.2.2.	1	1.2.4.	2	1.2.6.	1		

#### § 1.3

1.3.1.	1	1.3.5.	3	1.3.9.	1	1.3.13.	3
1.3.2.	4	1.3.6.	2	1.3.10.	2		
1.3.3.	2	1.3.7.	3	1.3.11.	2		
1.3.4.	1	1.3.8.	2	1.3.12.	2		

### ГЛАВА 2

#### § 2.1

2.1.1.	1	2.1.5.	3	2.1.9.	1	2.1.13.	1
2.1.2.	1	2.1.6.	3	2.1.10.	1		
2.1.3.	4	2.1.7.	5	2.1.11.	2		
2.1.4.	2	2.1.8.	3	2.1.12.	1		

#### § 2.2

2.2.1.	3	2.2.3.	2	2.2.5.	3	2.2.7.	2
2.2.2.	4	2.2.4.	5	2.2.6.	4	2.3.8.	2

#### § 2.3

2.3.1.	5	2.3.3.	3	2.3.5.	1	2.3.7.	3
2.3.2.	2	2.3.4.	2	2.3.6.	1		

#### § 2.4

2.4.1.	3	2.4.4.	4	2.4.7.	2	2.4.10.	3
2.4.2.	4	2.4.5.	1	2.4.8.	1		
2.4.3.	2	2.4.6.	3	2.4.9.	4		

## ГЛАВА 3

### § 3.1

3.1.1.	5	3.1.7.	4	3.1.13.	1	3.1.19.	3
3.1.2.	3	3.1.8.	5	3.1.14.	4	3.1.20.	2
3.1.3.	2	3.1.9.	3	3.1.15.	2	3.1.21.	2
3.1.4.	3	3.1.10.	3	3.1.16.	1		
3.1.5.	4	3.1.11.	4	3.1.17.	3		
3.1.6.	4	3.1.12.	2	3.1.18.	2		

### § 3.2

3.2.1.	3	3.2.5.	4	3.2.9.	4	3.2.13.	2
3.2.2.	2	3.2.6.	1	3.2.10.	4	3.2.14.	5
3.2.3.	1	3.2.7.	4	3.2.11.	1		
3.2.4.	1	3.2.8.	4	3.2.12.	4		

### § 3.3

3.3.1.	2	3.3.12.	3	3.3.23.	2	3.3.34.	4
3.3.2.	3	3.3.13.	5	3.3.24.	3	3.3.35.	2
3.3.3.	4	3.3.14.	1	3.3.25.	4	3.3.36.	1
3.3.4.	5	3.3.15.	3	3.3.26.	1	3.3.37.	2
3.3.5.	1	3.3.16.	4	3.3.27.	2	3.3.38.	2
3.3.6.	1	3.3.17.	3	3.3.28.	3	3.3.39.	3
3.3.7.	5	3.3.18.	3	3.3.29.	4	3.3.40.	4
3.3.8.	4	3.3.19.	1	3.3.30.	1	3.3.41.	3
3.3.9.	3	3.3.20.	5	3.3.31.	5	3.3.42.	2
3.3.10.	5	3.3.21.	1	3.3.32.	3		
3.3.11.	3	3.3.22.	2	3.3.33.	4		

### § 3.4

3.4.1.	2	3.4.12.	3	3.4.23.	5	3.4.34.	1
3.4.2.	3	3.4.13.	1	3.4.24.	3	3.4.35.	3
3.4.3.	2	3.4.14.	5	3.4.25.	5	3.4.36.	1
3.4.4.	5	3.4.15.	2	3.4.26.	4	3.4.37.	1
3.4.5.	3	3.4.16.	4	3.4.27.	2	3.4.38.	4
3.4.6.	3	3.4.17.	1	3.4.28.	3	3.4.39.	2
3.4.7.	4	3.4.18.	5	3.4.29.	3	3.4.40.	4
3.4.8.	5	3.4.19.	2	3.4.30.	2	3.4.41.	5
3.4.9.	2	3.4.20.	5	3.4.31.	4	3.4.42.	4
3.4.10.	3	3.4.21.	1	3.4.32.	3	3.4.43.	5
3.4.11.	4	3.4.22.	5	3.4.33.	4		

## ГЛАВА 4

§ 4.1							
4.1.1.	2	4.1.3.	2	4.1.5.	1	4.1.7.	1
4.1.2.	3	4.1.4.	4	4.1.6.	3	4.1.8.	1
§ 4.2							
4.2.1.	2	4.2.5.	1	4.2.9.	5	4.2.13.	2
4.2.2.	3	4.2.6.	5	4.2.10.	4		
4.2.3.	5	4.2.7.	3	4.2.11.	3		
4.2.4.	1	4.2.8.	5	4.2.12.	4		
§ 4.3							
4.3.1.	3	4.3.4.	3	4.3.7.	3	4.3.10.	1
4.3.2.	1	4.3.5.	3	4.3.8.	2	4.3.11.	4
4.3.3.	1	4.3.6.	2	4.3.9.	5		

## ГЛАВА 5

§ 5.1							
5.1.1.	3	5.1.7.	5	5.1.13.	4	5.1.19.	4
5.1.2.	2	5.1.8.	3	5.1.14.	2	5.1.20.	2
5.1.3.	2	5.1.9.	2	5.1.15.	2	5.1.21.	3
5.1.4.	1	5.1.10.	5	5.1.16.	1		
5.1.5.	2	5.1.11.	2	5.1.17.	3		
5.1.6.	2	5.1.12.	2	5.1.18.	4		
§ 5.2							
5.2.1.	1	5.2.8.	2	5.2.15.	1	5.2.22.	3
5.2.2.	2	5.2.9.	3	5.2.16.	5	5.2.23.	2
5.2.3.	3	5.2.10.	2	5.2.17.	2	5.2.24.	1
5.2.4.	1	5.2.11.	4	5.2.18.	1	5.2.25.	2
5.2.5.	3	5.2.12.	3	5.2.19.	1	5.2.26.	2
5.2.6.	4	5.2.13.	1	5.2.20.	2		
5.2.7.	2	5.2.14.	3	5.2.21.	4		

## ГЛАВА 6

§ 6.1							
6.1.1.	1	6.1.4.	2	6.1.7.	4	6.1.10.	1
6.1.2.	2	6.1.5.	4	6.1.8.	1		
6.1.3.	3	6.1.6.	2	6.1.9.	3		



## § 6.2

6.2.1.	3	6.2.8.	1	6.2.15.	4	6.2.22.	3
6.2.2.	2	6.2.9.	4	6.2.16.	1	6.2.23.	2
6.2.3.	2	6.2.10.	3	6.2.17.	2	6.2.24.	2
6.2.4.	2	6.2.11.	2	6.2.18.	2	6.2.25.	1
6.2.5.	2	6.2.12.	1	6.2.19.	1		
6.2.6.	3	6.2.13.	2	6.2.20.	3		
6.2.7.	4	6.2.14.	1	6.2.21.	2		

## § 6.3

6.3.1.	3	6.3.5.	4	6.3.9.	2	6.3.13.	2
6.3.2.	2	6.3.6.	1	6.3.10.	3	6.3.14.	3
6.3.3.	3	6.3.7.	2	6.3.11.	3	6.3.15.	3
6.3.4.	4	6.3.8.	4	6.3.12.	5		

## § 6.4

6.4.1.	2	6.4.8.	2	6.4.15.	2	6.4.22.	3
6.4.2.	1	6.4.9.	1	6.4.16.	2	6.4.23.	4
6.4.3.	2	6.4.10.	1	6.4.17.	2	6.4.24.	4
6.4.4.	2	6.4.11.	2	6.4.18.	3	6.4.25.	3
6.4.5.	1	6.4.12.	3	6.4.19.	1		
6.4.6.	4	6.4.13.	1	6.4.20.	4		
6.4.7.	1	6.4.14.	3	6.4.21.	4		

## § 6.5

6.5.1.	1	6.5.6.	5	6.5.11.	1	6.5.16.	4
6.5.2.	2	6.5.7.	2	6.5.12.	1	6.5.17.	4
6.5.3.	3	6.5.8.	3	6.5.13.	2		
6.5.4.	3	6.5.9.	4	6.5.14.	2		
6.5.5.	3	6.5.10.	3	6.5.15.	3		

## ГЛАВА 7

### § 7.1

7.1.1.	5	7.1.10.	5	7.1.19.	2	7.1.28.	3
7.1.2.	4	7.1.11.	2	7.1.20.	3	7.1.29.	1
7.1.3.	2	7.1.12.	4	7.1.21.	4	7.1.30.	4
7.1.4.	2	7.1.13.	2	7.1.22.	1	7.1.31.	2
7.1.5.	3	7.1.14.	1	7.1.23.	3	7.1.32.	5
7.1.6.	2	7.1.15.	2	7.1.24.	2	7.1.33.	3
7.1.7.	4	7.1.16.	1	7.1.25.	5	7.1.34.	1
7.1.8.	4	7.1.17.	4	7.1.26.	5		
7.1.9.	3	7.1.18.	5	7.1.27.	4		

				§ 7.2			
7.2.1.	4	7.2.5.	4	7.2.9.	4	7.2.13.	2
7.2.2.	3	7.2.6.	2	7.2.10.	5	7.2.14.	1
7.2.3.	1	7.2.7.	4	7.2.11.	2		
7.2.4.	3	7.2.8.	4	7.2.12.	5		

				§ 7.3			
7.3.1.	5	7.3.4.	4	7.3.7.	3	7.3.10.	2
7.3.2.	5	7.3.5.	3	7.3.8.	5	7.3.11.	3
7.3.3.	3	7.3.6.	3	7.3.9.	1		

				§ 7.4			
7.4.1.	2	7.4.7.	2	7.4.13.	4	7.4.19.	1
7.4.2.	3	7.4.8.	3	7.4.14.	4	7.4.20.	1
7.4.3.	3	7.4.9.	2	7.4.15.	1	7.4.21.	3
7.4.4.	5	7.4.10.	1	7.4.16.	1	7.4.22.	2
7.4.5.	4	7.4.11.	5	7.4.17.	5	7.4.23.	2
7.4.6.	2	7.4.12.	2	7.4.18.	5		

## ГЛАВА 8

				§ 8.1			
8.1.1.	5	8.1.4.	4	8.1.7.	5	8.1.10.	2
8.1.2.	1	8.1.5.	2	8.1.8.	4	8.1.11.	5
8.1.3.	5	8.1.6.	5	8.1.9.	2		

				§ 8.2			
8.2.1.	2	8.2.6.	1	8.2.11.	5	8.2.16.	4
8.2.2.	5	8.2.7.	3	8.2.12.	4	8.2.17.	4
8.2.3.	1	8.2.8.	4	8.2.13.	5	8.2.18.	1
8.2.4.	3	8.2.9.	1	8.2.14.	5	8.2.19.	3
8.2.5.	2	8.2.10.	3	8.2.15.	2		

				§ 8.3			
8.3.1.	2	8.3.6.	1	8.3.11.	1	8.3.16.	5
8.3.2.	3	8.3.7.	3	8.3.12.	5	8.3.17.	3
8.3.3.	2	8.3.8.	3	8.3.13.	5		
8.3.4.	5	8.3.9.	3	8.3.14.	2		
8.3.5.	4	8.3.10.	2	8.3.15.	1		

				§ 8.4			
8.4.1.	4	8.4.6.	1	8.4.11.	2	8.4.16.	5
8.4.2.	4	8.4.7.	4	8.4.12.	2	8.4.17.	3
8.4.3.	3	8.4.8.	4	8.4.13.	1		
8.4.4.	4	8.4.9.	1	8.4.14.	2		
8.4.5.	1	8.4.10.	3	8.4.15.	1		

## ГЛАВА 9

### § 9.1

9.1.1.	3	9.1.5.	4	9.1.9.	5	9.1.13.	1
9.1.2.	1	9.1.6.	5	9.1.10.	2	9.1.14.	2
9.1.3.	4	9.1.7.	2	9.1.11.	4	9.1.15.	2
9.1.4.	4	9.1.8.	3	9.1.12.	1		

### § 9.2

9.2.1.	3	9.2.4.	2	9.2.7.	5	9.2.10.	3
9.2.2.	2	9.2.5.	1	9.2.8.	3	9.2.11.	1
9.2.3.	3	9.2.6.	5	9.2.9.	1		

### § 9.3

9.3.1.	2	9.3.6.	1	9.3.11.	2	9.3.16.	2
9.3.2.	2	9.3.7.	2	9.3.12.	2	9.3.17.	1
9.3.3.	4	9.3.8.	4	9.3.13.	1	9.3.18.	3
9.3.4.	1	9.3.9.	5	9.3.14.	3	9.3.19.	1
9.3.5.	3	9.3.10.	1	9.3.15.	3	9.3.20.	2

### § 9.4

9.4.1.	4	9.4.3.	3	9.4.5.	4	9.4.7.	2
9.4.2.	2	9.4.4.	1	9.4.6.	1		

## ГЛАВА 10

### § 10.1

10.1.1.	1	10.1.6.	4	10.1.11.	2	10.1.16.	3
10.1.2.	3	10.1.7.	3	10.1.12.	4	10.1.17.	2
10.1.3.	1	10.1.8.	3	10.1.13.	1	10.1.18.	1
10.1.4.	4	10.1.9.	1	10.1.14.	3	10.1.19.	3
10.1.5.	5	10.1.10.	4	10.1.15.	2	10.1.20.	3

### § 10.2

10.2.1.	2	10.2.5.	2	10.2.9.	1	10.2.13.	3
10.2.2.	5	10.2.6.	4	10.2.10.	3	10.2.14.	4
10.2.3.	3	10.2.7.	2	10.2.11.	3	10.2.15.	5
10.2.4.	3	10.2.8.	5	10.2.12.	2		

### § 10.3

10.3.1.	3	10.3.7.	4	10.3.13.	3	10.3.19.	2
10.3.2.	5	10.3.8.	4	10.3.14.	1	10.3.20.	3

10.3.3.	2	10.3.9.	4	10.3.15.	4	10.3.21.	1
10.3.4.	2	10.3.10.	4	10.3.16.	1	10.3.22.	4
10.3.5.	2	10.3.11.	3	10.3.17.	3	10.3.23.	5
10.3.6.	4	10.3.12.	3	10.3.18.	1	10.3.24.	3

#### § 10.4

10.4.1.	3	10.4.6.	2	10.4.11.	3	10.4.16.	1
10.4.2.	1	10.4.7.	1	10.4.12.	4	10.4.17.	3
10.4.3.	5	10.4.8.	4	10.4.13.	5		
10.4.4.	2	10.4.9.	3	10.4.14.	3		
10.4.5.	3	10.4.10.	4	10.4.15.	2		

### ГЛАВА 11

#### § 11.1

11.1.1.	2	11.1.5.	1	11.1.9.	1	11.1.13.	2
11.1.2.	1	11.1.6.	3	11.1.10.	2	11.1.14.	3
11.1.3.	4	11.1.7.	4	11.1.11.	4		
11.1.4.	3	11.1.8.	2	11.1.12.	3		

#### § 11.2

11.2.1.	3	11.2.7.	1	11.2.13.	4	11.2.19.	4
11.2.2.	1	11.2.8.	2	11.2.14.	3	11.2.20.	1
11.2.3.	5	11.2.9.	4	11.2.15.	4	11.2.21.	3
11.2.4.	2	11.2.10.	3	11.2.16.	3		
11.2.5.	3	11.2.11.	1	11.2.17.	5		
11.2.6.	4	11.2.12.	2	11.2.18.	5		

#### § 11.3

11.3.1.	4	11.3.5.	1	11.3.9.	4	11.3.13.	4
11.3.2.	2	11.3.6.	4	11.3.10.	2	11.3.14.	3
11.3.3.	1	11.3.7.	2	11.3.11.	3		
11.3.4.	3	11.3.8.	5	11.3.12.	1		

#### § 11.4

11.4.1.	4	11.4.7.	1	11.4.13.	2	11.4.19.	4
11.4.2.	3	11.4.8.	2	11.4.14.	3	11.4.20.	4
11.4.3.	1	11.4.9.	1	11.4.15.	4	11.4.21.	2
11.4.4.	2	11.4.10.	1	11.4.16.	2	11.4.22.	1
11.4.5.	4	11.4.11.	1	11.4.17.	2	11.4.23.	1
11.4.6.	2	11.4.12.	1	11.4.18.	3		

### § 11.5

11.5.1.	4	11.5.5.	1	11.5.9.	2	11.5.13.	3
11.5.2.	2	11.5.6.	4	11.5.10.	1	11.5.14.	1
11.5.3.	1	11.5.7.	1	11.5.11.	5	11.5.15.	1
11.5.4.	3	11.5.8.	3	11.5.12.	2		

### § 11.6

11.6.1.	3	11.6.5.	3	11.6.9.	4	11.6.13.	4
11.6.2.	1	11.6.6.	5	11.6.10.	1	11.6.14.	3
11.6.3.	2	11.6.7.	3	11.6.11.	3	11.6.15.	2
11.6.4.	4	11.6.8.	1	11.6.12.	2		

### § 11.7

11.7.1.	3	11.7.5.	2	11.7.9.	4	11.7.13.	5
11.7.2.	2	11.7.6.	3	11.7.10.	1	11.7.14.	1
11.7.3.	3	11.7.7.	4	11.7.11.	4	11.7.15.	4
11.7.4.	1	11.7.8.	3	11.7.12.	2		

## ГЛАВА 12

### § 12.1

12.1.1.	5	12.1.5.	5	12.1.9.	1	12.1.13.	2
12.1.2.	4	12.1.6.	4	12.1.10.	3		
12.1.3.	2	12.1.7.	1	12.1.11.	5		
12.1.4.	3	12.1.8.	2	12.1.12.	3		

### § 12.2

12.2.1.	4	12.2.9.	5	12.2.17.	2	12.2.25.	3
12.2.2.	3	12.2.10.	3	12.2.18.	1	12.2.26.	4
12.2.3.	4	12.2.11.	6	12.2.19.	4	12.2.27.	1
12.2.4.	1	12.2.12.	2	12.2.20.	1	12.2.28.	4
12.2.5.	4	12.2.13.	1	12.2.21.	2	12.2.29.	4
12.2.6.	2	12.2.14.	2	12.2.22.	3		
12.2.7.	4	12.2.15.	2	12.2.23.	4		
12.2.8.	4	12.2.16.	3	12.2.24.	2		

### § 12.3

12.3.1.	1	12.3.8.	2	12.3.15.	2	12.3.22.	3
12.3.2.	1	12.3.9.	5	12.3.16.	1	12.3.23.	2
12.3.3.	3	12.3.10.	2	12.3.17.	3	12.3.24.	2

12.3.4.	2	12.3.11.	4	12.3.18.	1	12.3.25	4
12.3.5.	1	12.3.12.	2	12.3.19.	5	12.3.26	1
12.3.6.	1	12.3.13.	4	12.3.20.	3	12.3.27	2
12.3.7.	2	12.3.14.	5	12.3.21.	5		

#### § 12.4

12.4.1.	2	12.4.12.	2	12.4.23.	2	12.4.34.	1
12.4.2.	3	12.4.13.	4	12.4.24.	5	12.4.35.	3
12.4.3.	4	12.4.14.	2	12.4.25.	1	12.4.36.	5
12.4.4.	5	12.4.15.	1	12.4.26.	1	12.4.37.	1
12.4.5.	3	12.4.16.	5	12.4.27.	2	12.4.38.	4
12.4.6.	1	12.4.17.	2	12.4.28.	3	12.4.39.	2
12.4.7.	1	12.4.18.	5	12.4.29.	4	12.4.40.	5
12.4.8.	3	12.4.19.	3	12.4.30.	3	12.4.41	1
12.4.9.	4	12.4.20.	3	12.4.31.	1	12.4.42.	3
12.4.10.	5	12.4.21.	3	12.4.32.	2		
12.4.11.	2	12.4.22.	1	12.4.33.	1		

### ГЛАВА 13

#### § 13.1

13.1.1.	1	13.1.7.	2	13.1.13.	3	13.1.19.	2
13.1.2.	2	13.1.8.	3	13.1.14.	5	13.1.20.	3
13.1.3.	3	13.1.9.	4	13.1.15.	3	13.1.21.	4
13.1.4.	3	13.1.10.	2	13.1.16.	3		
13.1.5.	3	13.1.11.	2	13.1.17.	3		
13.1.6.	1	13.1.12.	1	13.1.18.	2		

#### § 13.2

13.2.1.	3	13.2.8.	1	13.2.15.	4	13.2.22.	5
13.2.2.	4	13.2.9.	1	13.2.16.	4	13.2.23.	5
13.2.3.	5	13.2.10.	4	13.2.17.	4	13.2.24.	3
13.2.4.	5	13.2.11.	3	13.2.18.	2	13.2.25.	1
13.2.5.	2	13.2.12.	2	13.2.19.	2	13.2.26.	4
13.2.6.	4	13.2.13.	1	13.2.20.	3		
13.2.7.	3	13.2.14.	4	13.2.21.	1		

#### § 13.3

13.3.1.	1	13.3.4.	2	13.3.7.	3	13.3.10.	3
13.3.2.	5	13.3.5.	3	13.3.8.	4	13.3.11.	2
13.3.3.	4	13.3.6.	2	13.3.9.	4		

§ 13.4							
13.4.1.	4	13.4.4.	4	13.4.7.	3	13.4.10.	4
13.4.2.	4	13.4.5.	5	13.4.8.	2		
13.4.3.	1	13.4.6.	2	13.4.9.	1		

## ГЛАВА 14

§ 14.1							
14.1.1.	2	14.1.8.	1	14.1.15.	3	14.1.22.	5
14.1.2.	3	14.1.9.	5	14.1.16.	1	14.1.23.	1
14.1.3.	1	14.1.10.	4	14.1.17.	2	14.1.24.	4
14.1.4.	5	14.1.11.	1	14.1.18.	5	14.1.25.	1
14.1.5.	3	14.1.12.	4	14.1.19.	4	14.1.26.	2
14.1.6.	2	14.1.13.	2	14.1.20.	3		
14.1.7.	5	14.1.14.	3	14.1.21.	4		

§ 14.2							
14.2.1.	2	14.2.7.	2	14.2.13.	2	14.2.19.	3
14.2.2.	2	14.2.8.	4	14.2.14.	4	14.2.20.	4
14.2.3.	4	14.2.9.	2	14.2.15.	3	14.2.21.	3
14.2.4.	3	14.2.10.	3	14.2.16.	2	14.2.22.	4
14.2.5.	3	14.2.11.	4	14.2.17.	1	14.2.23.	1
14.2.6.	1	14.2.12.	1	14.2.18.	3		

§ 14.3							
14.3.1.	3	14.3.6.	3	14.3.11.	3	14.3.16.	2
14.3.2.	2	14.3.7.	1	14.3.12.	1	14.3.17.	3
14.3.3.	1	14.3.8.	5	14.3.13.	4	14.3.18.	1
14.3.4.	4	14.3.9.	2	14.3.14.	3	14.3.19.	3
14.3.5.	2	14.3.10.	2	14.3.15.	4	14.3.20.	1

§ 14.4							
14.4.1.	4	14.4.4.	1	14.4.7.	2	14.4.10.	3
14.4.2.	2	14.4.5.	1	14.4.8.	3	14.4.11.	1
14.4.3.	3	14.4.6.	1	14.4.9.	2	14.4.12.	4

Учебное издание

МАЛЫШЕНКО Александр Максимович  
ВАДУТОВ Олег Самигулович

**СБОРНИК ТЕСТОВЫХ ЗАДАЧ  
ПО ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ**

Учебное пособие для вузов


Редакторы	О.Н. Свинцова Р.Д. Игнатова
Дизайн обложки	О.Ю. Аршинова О.А. Дмитриев

Подписано к печати 18.01.2008. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 21,4. Уч.-изд.л. 19,36.  
Заказ 143. Тираж 200 экз.



Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30